

## 경량골재 콘크리트의 구조거동에 대한 안전성

Structural Safety of Lightweight Aggregate Concrete



심재일\*  
Jae-Il Sim



양근혁\*\*  
Keun-Hyeok Yang

### 1. 서론

보통중량 콘크리트의 60 ~ 90% 수준의 기전 단위질량을 갖는 경량골재 콘크리트는 구조부재들의 단면크기를 줄일 수 있고 구조물의 밀면 전단력을 감소시킬 수 있어 내진저항에 유리하다. 내부 공기구조인 경량골재는 벽과 슬래브의 방음과 층간소음 저감에도 효율적이다. 또한 경량골재 콘크리트의 열전도율은 보통중량 콘크리트의 1/3 수준으로 전체 에너지 소비의 약 36%에 달하는 건축물의 냉·난방 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 화재 시 유독가스의 원인이 되는 유기단열재의 사용량을 줄일 수 있다<sup>1, 2)</sup>. 이와 같은 다양한 구조적·환경적 장점들 때문에 경량골재 콘크리트의 구조체 적용이 점진적으로 증가하고 있는 추세이다.

경량골재 콘크리트의 구조적 거동에 대한 연구는 1960년대부터 활성화되었다. Hognestad<sup>3)</sup> 및 Ivey and Buth<sup>4)</sup>는 골재의 낮은 강도에 의해 중요한 영향을 받는 콘크리트 보의 전단 거동 연구를 통해 경량골재의 파괴로 균열면에서 골재 맞물림 작용이 현저히 감소함을 보였고, 경량골재 콘크리트의 역학적 성능도 보통중량 콘크리트에 비해 다소 낮음을 지적하였다. Slate 등<sup>2)</sup>은 경량골재 콘크리트의 탄성계수에 대한 경량골재의 낮은 강성의 영향을 고려하기 위해서 콘크리트 기전 단위질량의 함수로서 탄성계수가 평가되어야 함을 지적하였다. Wang 등<sup>5)</sup>은 경량골재 콘크리트가 응력-변형을 관계에서 보통중량 콘크리트에 비해 변형저항성이 낮고 파괴 시 더 취성적임을 보였다. 한편 Babbat 등<sup>6)</sup>은 경량골재 콘크리트의 낮은 강성은 압축부재의 적용에 대한 불리한 특성이지만 경량골재 콘크리트 기둥의 내진성능은 동등함을 보였다. 보통중량 콘크리트 기둥과 경량골재 콘크리트의 역학적 성능 및 구조적 거동은 사용 경량골재의

강도 및 강성에 중요한 영향을 받는다. 기존 경량골재 콘크리트의 구조적 거동에 대한 연구는 경량골재 생산기술의 부재와 품질불량으로 대부분 모래경량 콘크리트에 집중되었다. 이에 따라 실험결과에 근거한 설계기준들도 기전 단위질량이 비교적 낮은 전경량 콘크리트나 비교적 낮은 비중의 인공경량골재를 사용한 콘크리트에서 그 안전성과 적용성이 의심되고 있다.

한편 국내에서도 2011년도부터 플라이 애쉬를 재활용한 인공 경량골재가 연간 20만 m<sup>3</sup>씩 생산될 예정이다. 이로 인해 지금까지 수입에 의존하여 고가이던 경량골재의 단가를 낮추어 경량골재 콘크리트의 경제성이 확보될 것이다. 그러나 이들 골재를 활용한 콘크리트의 구조적 성능 및 설계기준에 대한 안전성 평가는 매우 미미한 실정이다. 이에 본 고에서는 경량골재 콘크리트에 대한 ACI 318-08<sup>7)</sup>, EC 2<sup>8)</sup>, CEB-FIP<sup>9)</sup> 및 콘크리트구조설계기준<sup>10)</sup>(KCI)의 설계기준들을 정리·비교해 보고 국내산 경량골재를 사용한 콘크리트와 비슷한 단위용적 중량을 갖는 경량골재 콘크리트를 중심으로 각 설계기준들에서 제시하고 있는 역학적 특성과 부재의 휨, 전단 및 압축설계에 대한 안전성을 평가하였다.

### 2. 경량골재 콘크리트의 구조설계기준

설계기준들<sup>7~10)</sup>에서 제시하고 있는 경량골재 콘크리트의 역학적 특성들에 대한 비교를 <표 1>에 나타내었다. 일반적으로 경량골재 콘크리트의 역학적 성능들을 평가하기 위한 모델은 보통중량 콘크리트에 대한 제안식에서 수정계수를 함께 고려하고 있다. 이 수정계수는 경량골재 콘크리트의 낮은 인장저항성을 고려하기 위한 것으로 몇몇 실험결과<sup>3, 4)</sup>들의 하한값으로 설정하고 있다. 경량골재 콘크리트 보의 전단설계에 있어서도 균열면에서 감소된 골재 맞물림 작용을 반영하기 위하여 역학적 성능 모델들에서 이용되는 수정계수를 단순히 이용하고 있다<표 2>. 한편 경량골재 콘크리트의 휨·압축 설계를 위한 응력블록은 보통중량 콘크리트에서 적용된 계수를 그대로 제시하고 있다. 경량

\* 정희원, 경기대학교 건축공학과 대학원생  
jisim@kgu.ac.kr

\*\* 정희원, 경기대학교 건축공학과 부교수

표 1. 경량골재 콘크리트의 역학적 특성에 대한 설계기준

구분	ACI 318-08	EC 2	CEB-FIP	국내
수정계수( $\lambda$ )	$\lambda = 0.75 + 0.1(100 - R_{FLWG})$	$\lambda = 0.4 + 0.6\rho_c/2200$	EC 2와 동일	ACI 318-08과 동일
파괴계수( $f_r$ )	$f_r = 0.62 \lambda \sqrt{f_{ck}}$	-	$f_r = f_{rn}$	$f_r = 0.63 \lambda \sqrt{f_{ck}}$
인장강도( $f_t$ )	-	$f_t = f_{tn} \lambda$	$f_t = f_{tn} \lambda$	-
부착강도( $\tau_b$ )	-	$\tau_b = \tau_{bm}$	$\tau_b = \mu f_{ck}^{0.82}$	-
탄성계수( $E_c$ )	$E_c = \rho_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f_{ck}}$ $1,440 \leq \rho_c \leq 2,560 \text{ kg/m}^3$	$E_c = E_{cn} \eta_E$	EC 2와 동일	$E_c = \rho_c^{1.5} 0.077 \sqrt{f_{ck}}$ $1,450 \leq \rho_c \leq 2,500 \text{ kg/m}^3$
응력-변형률 관계	-	$\sigma_c = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} f_{cm}$	$\sigma_c = \frac{\Omega\eta - \eta^2}{1 + (\Omega-2)\eta} f_{cm}$	-
최대응력시 변형률( $\epsilon_0$ )	-	$\epsilon_0 = \epsilon_{c1}$ $\epsilon_{co} = \epsilon_{c1} = \xi f_{cm} / (E_{ci} \eta_E)$	$\epsilon_0 = \epsilon_{c1}$	-

\*  $R_{FLWG}$  는 경량골재 치환율,  $\rho_c$  는 콘크리트의 기건 단위질량,  $f_{ck}$  는 콘크리트의 압축강도,  $f_{rn}$  는 보통중량 콘크리트의 파괴계수,  $\tau_{rn}$  는 보통중량 콘크리트의 부착강도,  $E_{cn}$  은 보통중량 콘크리트의 탄성계수,  $\mu$  는 부착계수(완전 부착에서는 0.6, 그 외는 0.3),  $\eta_E$  는 보정계수( $\rho_c/2,200$ )<sup>2</sup>,  $f_{cm}$  는 콘크리트의 평균압축강도( $f_{ck} + 8$ ),  $\eta = \epsilon_c / \epsilon_{c1}$ ,  $\epsilon_{c1} = \xi f_{cm} / (E_{ci} \eta_E)$ ,  $k = 1.05 E_c \times |\epsilon_{c1}| / f_{cm}$ ,  $\xi$  는 EC 2에서 최대응력 시 변형률에 관계된 계수(전경량에서 1.0, 모래경량에서 1.1),  $E_{ci} = E_c / 0.85$ ,  $\Omega = E_{ci} / E_{c1}$ ,  $\epsilon_{c1} = \chi f_{cm} / (E_{ci} \eta_E)$ ,  $E_{c1} = f_{cm} / \epsilon_{c1}$ ,  $\chi$  는 CEB-FIP에서 최대응력 시 변형률에 관계된 계수(전경량에서 1.1, 모래경량에서 1.3.)

표 2. 경량골재 콘크리트 부재의 휨·압축 및 전단 구조설계기준

구분	ACI 318-08	EC 2	CEB-FIP	국내
응력블록	보통중량 콘크리트와 동일			
극한변형률( $\epsilon_u$ )				
전단강도( $V_c$ )	$V_c = (0.16 \lambda \sqrt{f_{ck}} + 17 \rho_s \frac{V_u d}{M_u}) b_w d$ 약산식, $V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f_{ck}} b_w d$	$V_c = 0.1 \lambda \psi (100 \rho_s f_{ck})^{1/3} b_w d$ $\geq 0.3 \psi^{3/2} \sqrt{f_{ck}}$	EC 2와 동일	ACI 318-08과 동일

\*  $\rho_c$  는 주철근비,  $V_u$  는 전단력,  $M_u$  는 모멘트,  $d$  는 주철근의 깊이,  $b_w$  는 부재의 폭,  $\psi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0$

골재 콘크리트의 구조설계를 위한 ACI 318-08<sup>7)</sup>, EC 2<sup>8)</sup>, CEB-FIP<sup>9)</sup> 및 KCI<sup>10)</sup>의 특성을 다음에 요약하였다.

### 2.1 ACI 318-08<sup>7)</sup>

ACI 318-08<sup>7)</sup>은 경량골재 콘크리트의 역학적 특성 중 파괴계수와 탄성계수에 대해서만 언급하고 있다. 파괴계수는 보의 전단강도에서와 같이 보통중량 콘크리트의 제안모델에서 수정계수만을 고려하고 있다. 수정계수는 Ivey와 Buth<sup>4)</sup>의 실험결과에 기반하여 전경량 콘크리트의 경우 0.75, 보통중량 콘크리트의 경우 0.85를 제시하고 있다. 반면, 쪼갠인장 강도( $f_{sp}$ )가 제시되면 파괴계수의  $\sqrt{f_{ck}}$ 를  $1.76 f_{sp}$ 로 대체할 수 있지만  $1.76 f_{sp}$ 는  $\sqrt{f_{ck}}$ 를 넘지 못하도록 하는 최대값을 규정하고 있다. 탄성계수 및 등가 응력블록은 보통중량 콘크리트와 동일하게 제시하고 있다.

### 2.2 EC 2<sup>8)</sup>

EC 2<sup>8)</sup>에서는 경량골재 콘크리트의 직접인장강도를 쪼갠인장

인장강도의 90%로 제안하고 있다. 직접인장강도 및 보의 전단 강도는 보통중량 콘크리트의 인장강도와 수정계수의 곱으로 제시하고 있다. EC 2<sup>8)</sup>에서 제시하는 수정계수는 기건 단위질량의 함수로 제시하고 있으며, 일반적으로 ACI 318-08<sup>7)</sup>의 수정계수보다 높다. 탄성계수는 수정계수 대신 기건 단위질량을 고려한 보정계수  $\eta_E$ 를 보통중량 콘크리트의 탄성계수에 곱하여 사용하도록 하고 있다<표 1>. 또한 경량골재 콘크리트의 응력-변형률 관계에서 보통중량 콘크리트의 최대응력 시 변형률에  $\eta_E$ 를 곱하여 낮은 변형저항성을 반영하고 있다. 하지만 최대응력 이후의 더 급격한 경량골재 콘크리트의 응력감소 기울기에 대해서는 고려하지 않고 있다.

### 2.3 CEB-FIP<sup>9)</sup>

CEB-FIP<sup>9)</sup>에서는 EC 2<sup>8)</sup>와 동일한 수정계수를 제시하고 있다. 파괴계수는 보통중량 콘크리트와 동일하게 제시하고 있지만 파괴계수에 영향을 미치는 인장강도는 EC 2<sup>8)</sup>와 동일하게 보통중량 콘크리트의 제안모델에 수정계수를 곱하여 사용하고 있다.

탄성계수와 응력-변형을 관계는 EC 2<sup>8)</sup>와 같이 보정계수로서 기  
 건 단위질량의 함수인  $\eta_E$ 를 사용하고 있다. 부착강도에서는 경  
 량골재 콘크리트의 낮은 점착력을 고려하여 보통중량 콘크리트  
 의 상수항과 제곱근의 상수항을 수정하여 제안하고 있다. 한편  
 응력블록에서 콘크리트의 극한변형률은 ACI 318-08<sup>7)</sup> 및 EC  
 2<sup>8)</sup>와 달리 콘크리트 기건 단위질량의 함수로 제시하고 있다.

### 2.4 KCI<sup>10)</sup>

KCI<sup>10)</sup>는 ACI 318-08<sup>7)</sup>에 기반하고 있어 경량골재 콘크리  
 트의 파괴계수를 ACI 318-08<sup>7)</sup>과 동일하게 사용하고 있다.  
 파괴계수에서 상수항의 차이는 단위를 변환하는 과정에서 발생  
 한 것이다. 탄성계수의 경우 2003년까지는 ACI 318-08<sup>7)</sup>과 동  
 일한 값을 사용하였으나 2007년 개정판부터는 탄성계수가  
 $\sqrt{f_{ck}}$  보다는  $\sqrt[3]{f_{ck}}$ 에 비례한다는 연구결과와 CEB-FIP<sup>9)</sup>를  
 참조하여 탄성계수를  $\sqrt[3]{f_{ck}}$ 과 기건 단위질량에 대한 함수로 제  
 안하고 있다. 응력블록 및 전단강도에 대한 설계기준은 ACI  
 318-08<sup>7)</sup>과 동일하다.

## 3. 설계기준의 안전성

경량골재 콘크리트의 역학적 특성 및 구조부재의 휨·압축과  
 전단설계에 대한 각 기준들의 안전성을 평가하기 위해 Yang 등<sup>11)</sup>  
 에 의해 구축된 데이터베이스를 이용하여 비교·분석하였다.

### 3.1 역학적 특성에 대한 설계기준의 안전성

#### 3.1.1 파괴계수

경량골재 콘크리트의 압축강도와 파괴계수의 관계 및 국내산  
 경량골재가 치환된 양근형<sup>12)</sup>의 실험결과를 <그림 1>에 함께  
 나타내었다. 국내산 경량골재가 치환된 콘크리트는 다른 실험결  
 과들에 비해 기건 단위질량이 낮았으며, 이로 인해 동일한 압축  
 강도에서도 낮은 파괴계수를 보였다. ACI 318-08<sup>7)</sup>은 국내산  
 경량골재가 치환된 콘크리트를 제외한 실험결과를 안전측에서  
 예측하고 있었다. 그러나 CEB-FIP<sup>9)</sup>는 대부분의 실험결과를  
 불안전측에 예측하고 있었다. 특히 압축강도가 증가할수록 불안  
 전측이 증가하였는데 이는 CEB-FIP<sup>9)</sup>의 파괴계수 제안모델에  
 서 경량골재 콘크리트의 낮은 인장저항성을 과대평가하고 있  
 을 의미한다.

#### 3.1.2 인장강도

경량골재 콘크리트의 압축강도와 쪼갬인장인장강도의 관계를  
 <그림 2>에 나타내었다. CEB-FIP<sup>9)</sup>는 압축강도에 관계없이

실험결과들을 매우 과대평가하기 때문에 경량골재 콘크리트에  
 대한 수정계수의 보완이 필요하다. EC 2<sup>8)</sup>의 제안모델은 비교적  
 실험결과와 평균과 비슷한 값을 나타내고 있다. 하지만 국내산  
 경량골재를 이용한 콘크리트의 쪼갬인장인장강도는 EC 2<sup>8)</sup> 제  
 안모델에 비해 현저히 낮았다. 따라서 국내산 경량골재를 이용  
 한 콘크리트의 인장강도에 대한 안전측 평가를 위한 모델정립이 필  
 요하다.

### 3.1.3 부착강도

경량골재 콘크리트의 압축강도와 부착강도의 관계를 <그림  
 3>에 나타내었다. CEB-FIP<sup>9)</sup>는 경량골재 콘크리트의 부착강  
 도에 대한 실험결과를 안전측에서 제시하고 있었다. 그러나

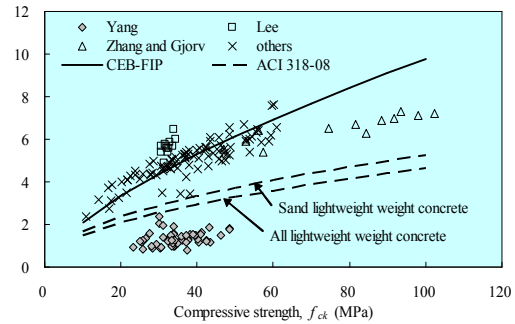


그림 1. 압축강도와 파괴계수의 관계

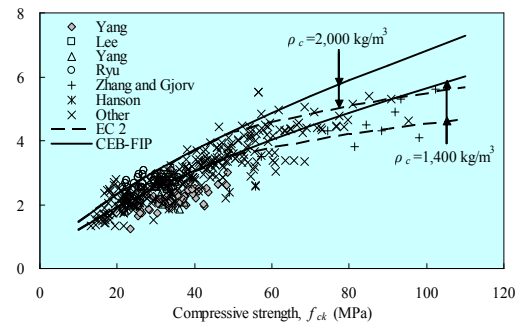


그림 2. 압축강도와 쪼갬인장인장강도의 관계

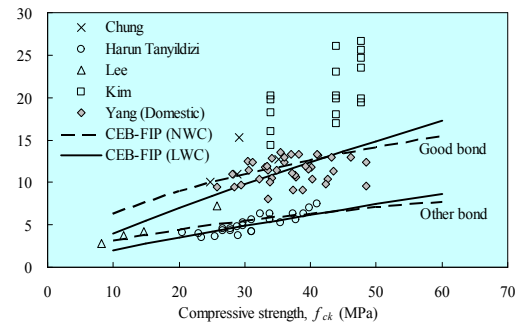


그림 3. 압축강도와 부착강도의 관계

CEB-FIP<sup>9)</sup>은 압축강도가 45 MPa를 초과하는 경량골재 콘크리트의 부착강도는 동일한 강도의 보통중량 콘크리트의 부착강도보다 높게 제시하고 있다.

### 3.1.4 탄성계수

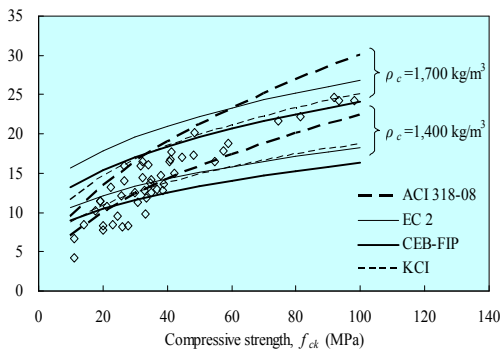
전경량 콘크리트의 탄성계수 실험값에 대한 설계기준들은 <그림 4-(a)>에 나타낸 바와 같이 압축강도 40 MPa 이상에서는 안전측에 있었지만, 압축강도 40 MPa 이하에서는 불안전측에 있었다. 모래경량 콘크리트에서도 압축강도가 60 MPa 이하에서는 설계기준들의 모델들은 불안전측에 있었다<그림 4-(b)>. 경량골재 콘크리트의 탄성계수는 압축강도가 증가함에 따라 ACI 318-08<sup>7)</sup>의 기술키와 유사하였다. 이는 경량골재 콘크리트의 탄성계수가  $\sqrt[3]{f_{ck}}$ 의 함수보다는  $\sqrt{f_{ck}}$ 의 함수로 더 정확히 예측될 수 있음을 보여준다.

### 3.1.5 응력-변형률 관계

경량골재 콘크리트의 응력-변형률 관계에 대한 실험결과와 EC 2<sup>8)</sup> 및 CEB-FIP<sup>9)</sup>의 제안모델의 비교를 <그림 5>에 나타내었다. EC 2<sup>8)</sup>와 CEB-FIP<sup>9)</sup>의 제안모델들은 상승되는 구간만 제시되어 콘크리트 기건 단위질량에 중요한 영향을 받는 최대응력 이후 하강 기술키에 대해서는 고려하지 않고 있다. 응력-변형률 관계는 낮은 탄성계수로 인해 상승구간의 기술키가 완만하며, 최대응력시 변형률은 보통중량 콘크리트보다 컸다. 이러한 경향은 압축강도가 증가할수록 증가하였다. EC 2<sup>8)</sup>와 CEB-FIP<sup>9)</sup> 예측모델은 경량골재 콘크리트의 초기 강성을 잘 예측하였지만 고강도에서 극한변형률을 실험결과보다 크게 예측하였다.

## 3.2 구조부재의 안전성

### 3.2.1 등가응력 블록 계수



(a) 전경량 콘크리트

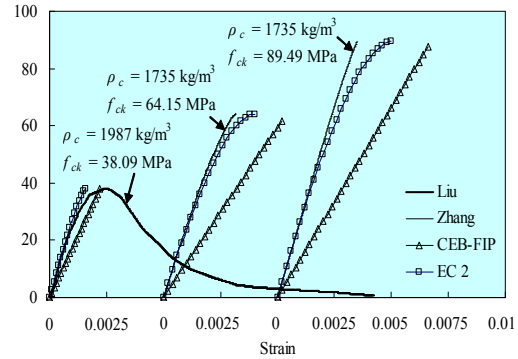
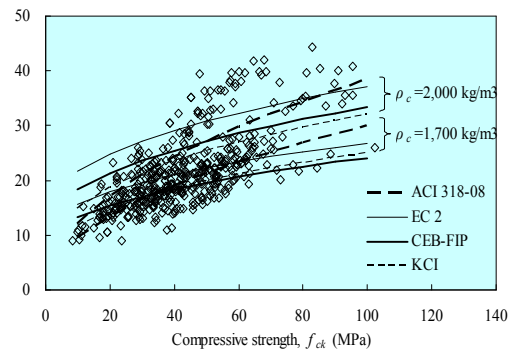


그림 5. 경량골재 콘크리트의 응력-변형률 관계

콘크리트의 압축강도와 등가 직사각형 응력블록 계수와의 관계를 <그림 6>에 나타내었다. 경량골재 콘크리트의 응력블록 계수에 대한 연구는 매우 미미하므로 비교를 위해 보통중량 콘크리트의 실험결과를 함께 비교하였다. 응력블록계수  $\alpha_1$ 과  $\beta_1$ 은 콘크리트 기건 단위질량에 관계없이 압축강도가 증가할수록 감소하였다. <그림 6-(a)>를 보면 ACI 318-08<sup>7)</sup>과 CEB-FIP<sup>9)</sup> 및 KCI<sup>10)</sup>는 압축강도에 관계없이  $\alpha_1$ 을 일정하게 제시하고 있어 압축강도가 20 MPa 이상에서 실험결과를 불안전측에서 예측하고 있었다. EC 2<sup>8)</sup>에서  $\alpha_1$ 은 압축강도 50 MPa를 기준으로 보통강도 영역에서는 일정하게, 고강도 영역에서는 압축강도가 증가함에 따라 감소하도록 제시하고 있다. EC 2<sup>8)</sup>는 전체적으로 실험결과를 불안전측에서 예측하고 있었다. 특히 사회적 요구에 따라 콘크리트의 성능이 향상됨에 따라 압축강도 90 MPa를 상한으로 제시하는 EC 2<sup>8)</sup>의 압축강도 범위는 조절될 필요가 있다. <그림 6-(b)>를 보면 ACI 318-08<sup>7)</sup>은 모든 강도에서 실험결과를 안전측에서 제시하고 있었다. 그러나 EC 2<sup>8)</sup>는 압축강도 40 MPa 이상에서 실험결과를 불안전측에서 제시하고 있으며, CEB-FIP<sup>9)</sup>의 제안모델은 압축강도 80 MPa 이상에서 실험결과는 더 이상 감소되지 않았지만 설계제안모델은



(b) 모래경량 콘크리트

그림 4. 압축강도와 탄성계수의 관계

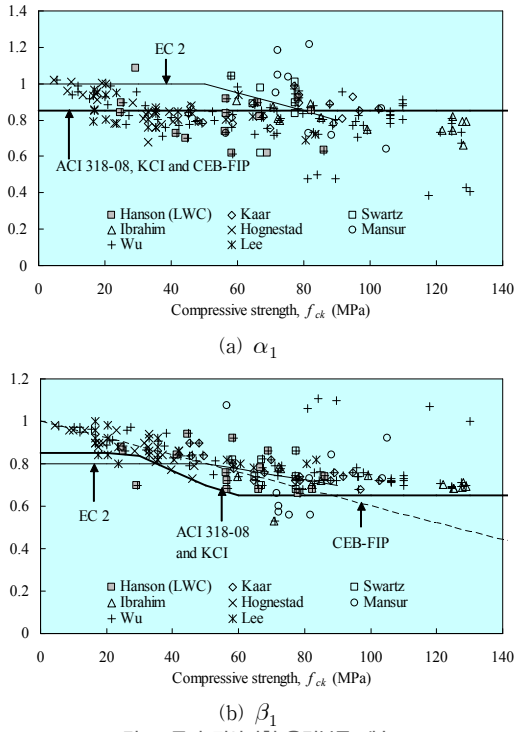


그림 6. 등가 직사각형 응력블록 계수

압축강도에 대한 1차 함수로써 압축강도가 증가함에 따라 지속적으로 감소하여 과도하게 안전측에 있었다.

### 3.2.2 휨 내력

경량골재 콘크리트 보의 주철근비와  $(M_n)_{Exp.}/(M_n)_{Pre.}$ 의 관계를 <그림 7>에 나타내었다. 경량골재 콘크리트 보의 휨 내력에 대한 해석값은 ACI 318-08<sup>7)</sup>, EC 2<sup>8)</sup> 및 CEB-FIP<sup>9)</sup>에서 제시하는 등가 응력블록을 이용하여 계산하였다. 경량골재 콘크리트 보의 휨 내력에 대한 설계기준들<sup>7~10)</sup>은 응력블록계수의 차이에도 불구하고 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 평형철근비 이하의 주철근비를 갖는 콘크리트 보의 휨 내력은 콘크리트

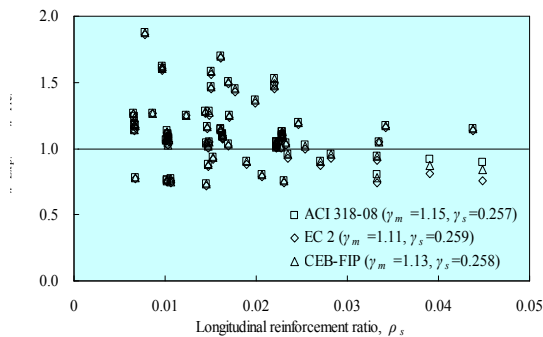


그림 7. 경량골재 콘크리트 보의 휨 내력의 안전성

보다는 주철근에 의해 결정되기 때문이다. 경량골재 콘크리트의  $(M_n)_{Exp.}/(M_n)_{Pre.}$ 는 일반적으로 주철근 비가 증가할수록 감소하였다. ACI 318-08<sup>7)</sup>, EC 2<sup>8)</sup> 및 CEB-FIP<sup>9)</sup>에 의해 예측된 휨 내력의 평균( $\gamma_m$ )값은 실험결과를 안전측에서 예측하고 있었지만 주철근비가 0.03 이상에서는 다소 불안전측에 있었다.

### 3.2.3 전단강도

경량골재 콘크리트에서는 골재의 낮은 강도로 인해 골재의 맞물림작용에 의한 전단력이 감소된다. 특히 연속보로 이루어진 건축물에서의 골재 맞물림 작용은 단순보에서 더욱 작다. 국내산 경량골재와 중국산 경량골재를 혼합하여 사용한 Yang<sup>13)</sup>의 연구에서는 경량골재 콘크리트 단순보 및 연속보의 전단실험을 통해 ACI 318-08<sup>7)</sup>과 EC 2<sup>8)</sup>의 예측값이 불안전측에 있음을 지적하였으며, 연속보에서 수정계수의 불안전성을 제시하였다 <그림 8>.

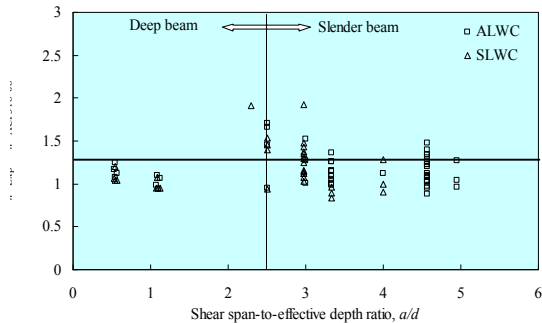
### 3.2.4 기둥

설계기준들에 의한 경량골재 콘크리트 기둥의 축력-모멘트 관계를 <그림 9>에 나타내었다. ACI 318-08<sup>7)</sup>과 CEB-FIP<sup>9)</sup>의 축력-모멘트 관계는 압축강도에 관계없이 거의 일치하였다. 그러나 EC 2<sup>8)</sup>는 압축강도가 50 MPa 이상에서 ACI 318-08<sup>7)</sup> 및 CEB-FIP<sup>9)</sup>와 비슷하였지만 50 MPa 이하에서는 인장비례 한계점 이상에서 축력비가 증가할수록 모멘트비가 증가하였다. 이는 EC 2<sup>8)</sup>에서 콘크리트의 등가 직사각형 응력블록계수  $\alpha_1$ 이 압축강도 50 MPa 이하에서 ACI 318-08<sup>7)</sup>과 CEB-FIP<sup>9)</sup>보다 크게 제안되고 있기 때문이다. 경량골재 콘크리트 기둥에 대한 실험결과가 부족하기 때문에 설계기준들에서 제시하는 응력블록의 안전성을 평가하기 힘들다. 하지만 인장비례한계점 이상에서는 콘크리트가 기둥의 내력을 지배하므로 설계기준에서 제시하는 등가 응력블록계수들이 경량골재 콘크리트 기둥에서도 안전성 여부에 대해서는 실험적 확인이 필요하다.

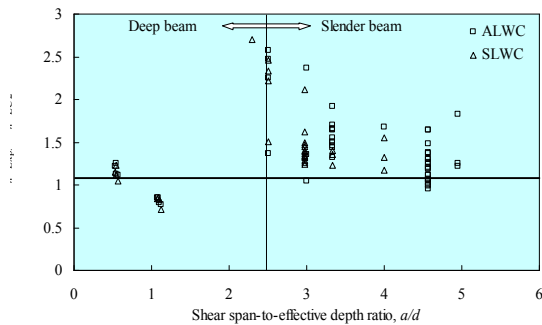
## 4. 결론

본 고에서는 국내산 경량골재를 중심으로 경량골재 콘크리트에 대한 각 설계기준들의 안전성을 평가하였다. 경량골재 콘크리트의 낮은 파괴계수와 전단강도를 반영하기 위한 ACI 318-08<sup>7)</sup>과 KCI<sup>10)</sup>에서 제시하는 수정계수는 불안전측에 있었다. 이에 대한 EC 2<sup>8)</sup>와 CEB-FIP<sup>9)</sup>의 수정계수는 콘크리트의 기건 단위질량을 고려하여 제시되었지만 ACI 318-08<sup>7)</sup>의 수정계수에 비해 불안전측이 증가하였다. 또한 경량 콘크리트의 인장강도 및 탄성계수에 대한 설계기준의 제안모델들도 일반적





(a) ACI 318-08



(b) EC 2

그림 8. 경량골재 콘크리트 보의 전단내력의 안전성

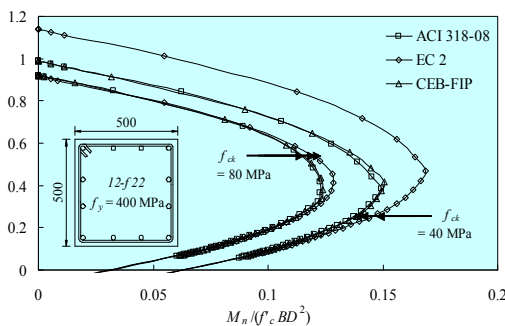


그림 9. 경량골재 콘크리트 기둥의 축력-모멘트 관계

으로 불안전측에 있었다. 이는 경량골재를 이용한 콘크리트 부재의 휨·압축 설계를 위한 응력블록계수  $\alpha_1$  과  $\beta_1$  는 콘크리트 기건 단위질량을 고려하여 수정 및 보완될 필요가 있음을 보여 준다. 따라서 국내산 경량골재 콘크리트의 역학적 특성 평가 및 구조설계를 위한 합리적인 모델들이 정립될 필요가 있다고 판단 된다. □

### 참고문헌

1. 양근혁, 문주현, '경량콘크리트 연속보의 전단내력에 대한 골재크기의 영향', 콘크리트학회논문집, Vol. 21, No. 5, 2009, pp. 669 ~ 677.

2. Slate, F. O., Nilson, A. H. and Martinez, S., "Mechanical Properties of High-Strength Lightweight Concrete", *ACI Journal*, Vol. 83, No. 4, 1986, pp. 606 ~ 613.

3. Hognestad, E., Elstner, R. C. and Honson, J. A., "Shear Strength of Reinforced Structural Lightweight Aggregate Concrete slabs", *ACI Journal, Proceedings*, Vol. 61, No. 6, 1964, pp. 859 ~ 871.

4. Ivey, D. L. and Buth, E., "Shear Capacity of Lightweight Concrete Beams", *ACI Journal, Proceedings*, Vol. 64, No. 10, 1967, pp. 634 ~ 643.

5. Wang, P. T., Shah, S. P. and Naaman, A. E., "Stress-Strain Curves of Normal and Lightweight Concrete in Compression", *ACI Journal*, Vol. 75, No. 11, 1978, pp. 603 ~ 611.

6. Babbat, B. G., Daniel, J. I., Weinmann, T. L. and Hanson, N. W., "Seismic behavior of Lightweight and Normal Weight Concrete Columns", *ACI Journal*, Vol. 83, No. 1, 1986, pp. 69 ~ 79.

7. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary (ACI 318R-08), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008. 473 pp.

8. Comité Euro-International du Béton. CEP-FIP Model Code 1990 for Concrete Structures, Bulletin d'Information No. 213-214, CEB-FIP 90, Lausanne, 1993.

9. The European Standard EN 1992-1-1: 2004. Eurocode 2: Design of concrete structures, British Standards Institution, London, UK, 2004, 225 pp.

10. 한국콘크리트학회, 「건설교통부제정 콘크리트 구조설계기준」, 2007.

11. Yang, K. H., Sim, J. I. and Kang, T. H. K., "Equivalent Stress Blocks Considering Compressive Strength and Unit Weight of Concrete", submitted for publication, 2011.

12. 양근혁, 크기효과를 고려한 구조용 경량 콘크리트의 역학적 특성 평가모델 개발, 연구재단 기술보고서, 경기대학교, 2010.

13. Yang, K. H. and Ashour, A. F., "Verification of the Modification Factor in Lightweight Concrete Beam Shear", Submitted for Publication, *ACI Structural Journal*, 2011.

담당 편집위원 :  
양근혁(경기대학교) yangkh@kyonggi.ac.kr