

휨·압축 부재 강도 해석을 위한 콘크리트 압축 응력블럭 및 공칭 강도

Nominal Strength and Concrete Stress Block for Strength Analysis of Flexure and Compression Member

임 강 섭* 신 성 진** 최 진 호** 이 재 훈***
Lim, Kang-Sup Sin, Sung-Jin Choi, Jin-Ho Lee, Jae-Hoon

ABSTRACT

Compression stress block used to concrete structure design substitutes equivalent triangle, rectangle, trapezoid and parabola-rectangle stress block for actual concrete stress distribution. Its shape is different in design code of the major advanced countries. It reflects the material feature of each of country. Presently, compression stress block of korea concrete design code is equal to it of ACI code that doesn't reflect the material feature of the high strength concrete. So, many research conclusions showed that it is not reasonable.

The study compares concrete stress blocks of the major advanced countries and does an experiment on concrete compression stress block to know the material feature of the concrete in korea. It obtains the operating load and the concrete strain in experiment and draw stress block parameters. It compares stress block parameters applied to design code with those by the experiment conclusion. In addition, It compares and analyses nominal axial force-moment diagram by the stress block of the major advanced countries.

요 약

콘크리트 구조물 설계에 사용되는 콘크리트 압축 응력블럭은 실제 응력분포를 등가의 삼각형, 직사각형, 사다리꼴 또는 포물선-직선 등 여러 형태로 나타낸 것이다. 이러한 콘크리트의 압축 응력블럭은 주요 선진국의 설계기준마다 그 형태가 조금씩 다르며, 각 나라 콘크리트의 재료적 특성을 반영하여 적용하고 있다. 현재, 우리나라 콘크리트 설계기준에 적용하고 있는 직사각형 압축 응력블럭은 ACI 설계기준과 동일한 형태이고, 이는 고강도 콘크리트의 재료적 특성을 반영하지 못하여 비합리적이라는 여러 연구결과가 발표되어왔다.

본 연구는 주요 선진국의 설계기준에 적용되는 콘크리트 압축 응력블럭에 대해 검토하였으며, 우리나라 콘크리트의 재료적 특성을 알기 위해 콘크리트 압축 응력블럭 실험을 실시하였다. 실험을 통해 하중 및 변형률을 얻었으며, 실험 결과에 의한 응력블럭계수를 도출하였다. 실험에 의한 응력블럭계수와 주요 선진국의 설계기준에 적용하는 응력블럭계수 값들을 비교·분석하였다. 또한, 주요 설계기준의 응력블럭에 따른 공칭 축력-모멘트 상관도를 비교·분석하였다.

* 정회원, 영남대학교 대학원, 토목공학과, 석사과정
** 정회원, 영남대학교 대학원, 토목공학과, 박사과정
*** 정회원, 영남대학교, 건설환경공학부, 교수

1. 서 론

요즈음 교량 설계기술의 선진화를 위해 국제적으로 통용될 수 있는 새로운 설계기준이 요구되고 있다. 본 연구는 우리나라 설계기술 선진화의 일환으로 새로운 응력블럭 제안을 위해 실시하였다. 일반 강도 콘크리트에 대해 콘크리트 압축 응력블럭 실험을 수행하였고, 실험 결과로 응력블럭계수와 극한 변형률을 얻었다. 본 실험 결과와 국외 실험 결과를 통해 얻은 응력블럭계수와 극한 변형률을 비교하였다. 또한 주요 설계기준에서 제시하고 있는 압축 응력블럭을 이용하여 휨-축력 공칭강도를 비교하였다.

2. 콘크리트 압축 응력블럭

콘크리트 압축 응력블럭은 단면의 공칭강도를 결정하는 중요한 인자이다. 각 설계기준에서는 하나 이상의 등가 응력블럭을 제시하고 있으며, 공통적으로 등가 직사각형 응력블럭을 제시하고 있다.

ACI 318의 직사각형 응력블럭 모델은 1937년 Whitney에 의해 제안되었고, 그 후 1976년 고강도 콘크리트에 대한 Nedderman(1973)과 Kaar 등(1977)의 실험 결과를 반영하여 β_1 의 하한을 0.65로 변경하였다. 하지만, 고강도 콘크리트의 재료적 특성을 표현하는데 있어서 다른 설계기준의 모델에 비해 비안전측임을 여러 연구결과에서 나타내고 있다. 반면 CSA는 Macgregor 등(1997)의 연구를 바탕으로 α_1 , β_1 에 대한 수정된 계수를 제시하여 고강도 콘크리트의 재료적인 특성을 잘 반영하고 있으며, Eurocode와 JSCE 또한 고강도 콘크리트의 재료적 특성을 반영한 등가 응력블럭 모델을 설계기준에서 제시하고 있다.

3. 압축 응력블럭 실험

3.1 실험개요

우리나라 콘크리트의 재료적 특성을 반영한 콘크리트 압축 응력블럭계수를 검토하기 위해 압축 응력블럭 실험을 수행하였다. ACI 설계기준의 경우, 응력블럭계수 값을 도출하기 위해 Hognestad 등(1956)이 C형 실험체를 처음 제안하였고, 그 실험 결과가 설계기준식 유도에 적용되었다. 그리고 Hognestad 등의 실험방법과 연구결과는 Kaar 등(1977)과 Swartz 등(1985)의 동일한 실험에 의해 그 타당성이 입증되었다.

본 연구의 압축 응력블럭 실험은 Hognestad 등의 실험에 적용된 실험체 형상과 실험방법을 적용하여 26개의 일반강도 콘크리트 실험체를 실험하였다. 우측 그림 1은 실험체의 단면도이다. 실험체의 중앙부(125mm×200mm×400mm)는 순수 콘크리트에 의해서만 구성되고, 양단부는 중앙부의 콘크리트가 압축 파괴될 때까지 파괴되지 않도록 휨 철근과 전단 철근으로 보강하였다. 콘크리트의 압축강도는 $\phi 10 \times 20$ 원주형 공시체 실험을 통해 결과값을 얻었다.

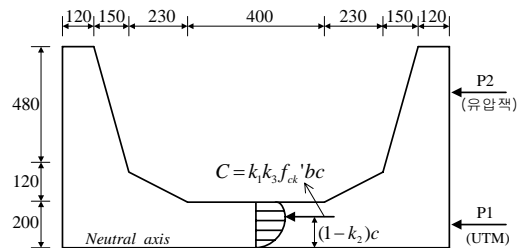


그림 1 실험체 단면도 (단위: mm)

3.2 실험 방법

실험 방법은 실험체에 P_1 하중을 제하하면서 실험체 중립축면(그림1 참조)에 변형률이 발생하지 않도록 P_2 하중을 제하하였다. 이러한 방법으로 P_1 , P_2 하중을 천천히 증가시키면서 실험체 중앙부의 콘크리트가 압축파괴가 발생하도록 실험을 실시하였다. 실험을 수행하는 동안 변형률을 측정하기 위

해 변형률계지를 각각의 면에 2개씩 설치하였고, 축력을 유발시키는 주하중 P_1 은 유압으로 조작되는 100tonf 용량의 만능재료시험기를 축력과 휨모멘트를 유발시키는 보조 하중 P_2 는 20tonf 용량의 수동식 유압잭(Hydraulic jack)을 사용하였다. 작용 하중 P_2 에 대한 결과는 20tonf 용량의 로드셀(Load cell)을 이용하여 측정하였다. 아래 그림 2는 실험을 위한 실험 준비사진이다.



그림 2 실험체 및 실험장비 사진



그림 3 실험체 파괴 형상

4. 실험 결과

4.1 응력블럭계수 및 극한 변형률

본 실험을 통해 얻어지는 결과값은 실험체에 작용하는 P_1 , P_2 하중과 실험체 중앙부의 압축 변형률이다. 대부분 실험체의 파괴는 전형적인 압축 파괴형상을 나타내었으며, 그림 3을 통해 그 형상을 확인할 수 있다. 그리고 총 26개의 실험체 중 실험 제어의 어려움과 초기 균열로 인해 18개의 실험체만 실험 결과를 얻을 수 있었다. 실험 결과는 압축 응력블럭계수로 아래 그림 4와 5에서 나타내었고, 각 실험체의 극한 변형률은 그림 6에서 나타내었다.

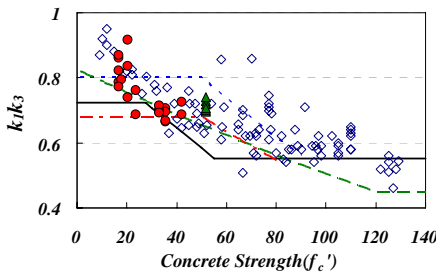


그림 4 응력블럭계수 k_1k_3

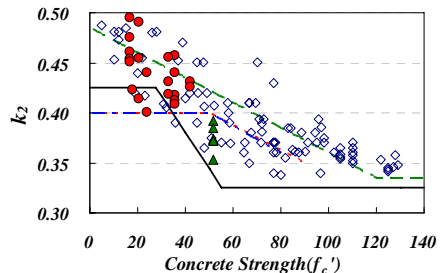


그림 5 응력블럭계수 k_2

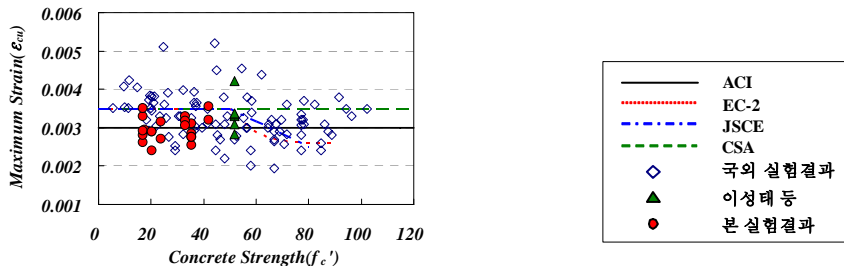


그림 6 극한 변형률 ϵ_{cu}

그림 4와 5에서는 국내·외 실험 결과와 주요 설계기준에 적용되는 응력블럭계수를 추가하여 콘크리트 압축강도에 따른 응력블럭계수의 경향을 관찰할 수 있으며, 이는 응력블럭계수 값들이 압축강도

증가에 따라 점차 감소하는 현상을 나타냄을 알 수 있다. 하지만, 응력블럭계수의 단순한 비교로는 부재강도에 미치는 영향을 알 수 없으며, 아래 그림7과 같이 단면 제원에 대한 부재강도 검토를 통해 알 수 있다. 그림 6에서는 콘크리트 극한 변형률의 경향을 관찰할 수 있다. 각 설계기준에서 다른 극한 변형률 값을 적용하고 있지만, 극한 변형률은 부재 휨강도 결정에 영향을 미치지 않는다.

4.2 응력블럭에 따른 공칭 강도

주요 설계기준에서 적용하고 있는 압축 응력블럭으로 특정 제원에 대해 축력-모멘트를 비교하였다. 검토 대상 제원은 $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ 직사각형단면, 콘크리트강도 80MPa , 철근 항복강도 400MPa , 철근비는 2%이다. 고강도 콘크리트의 축력-모멘트 상관도(그림7 참고)에서 철근의 영향이 큰 인장 지배영역에서는 각 설계기준들이 거의 비슷한 결과를 보이지만, 콘크리트의 영향이 큰 압축 지배영역에서는 ACI-318 설계기준이 더 큰 값을 보이며 다른 설계기준에 비해 과대평가하고 있음을 알 수 있다.

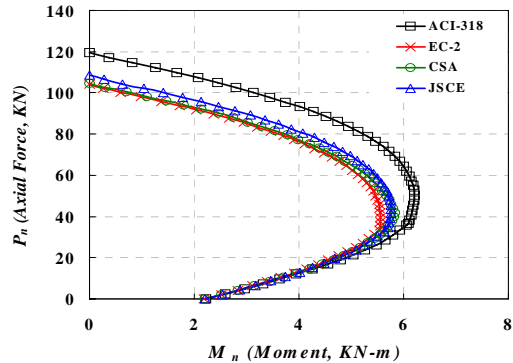


그림 7 공칭 축력-모멘트 상관도

5. 결론

콘크리트 압축 응력블럭 실험을 통해 우리나라에 적용되는 일반강도 콘크리트의 압축 응력블럭계수를 도출하였으며, 이 값들이 외국의 실험 결과들과 비슷한 경향을 보임을 알 수 있다. 현 설계기준의 콘크리트 압축 응력블럭은 고강도 콘크리트 기동에 대하여 다른 설계기준의 응력블럭보다 큰 축력-모멘트 공칭강도가 계산된다. 고강도 콘크리트에 대한 추가적인 실험과 연구를 통해 우리나라에 적합한 응력블럭 제안이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 "건설교통R&D정책인프라사업 성능중심의 건설기준 표준화과제(06기반구축A01)"의 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Hognestad, E., Hanson, N. W., and McHenry, D., "Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength Design," ACI Journal, Proceeding V.27, No. 3, Nov. 1955, pp 455-479
- Kaar, P.H., Hanson, N.W., and Capell, H.T., "Stress-Strain Characteristics of High Strength Concrete," PCA Research and Development Bulletin RD051.01D, 1977, pp. 1-10
- Ibrahim, Hisham, H. H., and MacGregor, J.G., "Modification of the ACI Rectangular Stress Block for High-Strength Concrete," ACI Structural Journal, V.94, No.1, Jan-Feb. 1997, pp. 40-48.
- Kim, J.-K., Yi, S.-T., and Yang, E.-I., "Effect of Specimen Sizes on ACI Rectnagular Stress Block for Concrete Flexural Members." ACI Structural Journal, V.99, No.5, Sep-Oct 2002, pp. 701-708.