

신뢰성이론을 이용한 고강도콘크리트 구조물의 축력-모멘트관계에 관한 해석적인 연구

The Analytical Study of Axial Force-Moment Relationships for High Strength Concrete Structures using Reliability Theory

최광진* 홍원기** 장일영*** 송재호****
Kwang-Jin Choi* Won-Kee Hong** Il-Young Jang*** Jae-Ho Song****

ABSTRACT

The main object of the study is that axial force-moment relationships for high strength concrete structures using reliability theory including probability conception. And mean stress factors and centroid factors proposed to high strength concrete structures using reliability theory. Finally, The established experimental data for axial force-moment relationships are compared to the analytical data for the axial force-moment relationships in this analytical method.

1. 서론

현대사회에서는 인구의 증가와 지가의 상승으로 토목, 건축구조물들은 고강도화, 경량화됨으로써 고강도 콘크리트의 수요가 급격히 늘고 있다. 또한 시멘트의 강도와 시공기술의 발달, 고성능 감수제 및 혼화제의 개발등으로 점차적으로 수요 범위가 증가추세에 있고, 1980년대에 와서 미국, 일본, 캐나다 등에서는 압축강도 1000kgf/cm²의 고강도 콘크리트의 개발로 고층건물, 교량 등에 고강도콘크리트, 초고강도 콘크리트의 시공성이나 현장성에 대한 연구가 많이 시행 되고 있다. 그러나 현재 대개 사용되고 있는 이론들은 보통 강도 콘크리트를 사용하여 실험한 결과에 근거로 강도의 변화를 주어서 사용하였기 때문에 고강도 콘크리트에 대한 적용성은 불합리한 점을 많이 내포하고 있다.

-
- 1) *정회원 (주)동우기술단 부설 연구소 대리, 공학석사
 - 2) **정회원 (주)삼성중공업 건설부문 품질팀장, 공학박사
 - 3) ***정회원 금오공과대학교 토목공학과 교수, 공학박사
 - 4) **** 국립금오공과대학교 교수, 공학박사

2. 연구배경과 목적

철근 콘크리트의 기둥에 대한 연구는 1931년 ACI 318 분과위원회에서 564개의 기둥부재에 대한 실험결과를 발표하면서 본격적으로 시작되었다. 그 후에 1951년에 Hognestad가 축하중과 휨모멘트(하중)를 받는 기둥에 대한 연구를 발표하면서 이에 대한 연구가 고조되었다. 1960년대 중반기에 들어오면서 기둥의 단부조건, 부재사이의 상호작용, 기둥이 구조물 전체거동에 미치는 영향에 관한 연구가 시작되었으며, 1964년 Wood는 전체구조물의 거동과 부재거동사이의 관계를 명확히 규명하여 부재를 설계해야 하는 것을 지적하였다. 그래서 본 연구의 목적은 확률적인 개념이 포함되어 있는 신뢰성이론(몬테카를로 시뮬레이션 방법)을 이용하여 고강도콘크리트 구조물에 대한 축력-모멘트 관계(axial force-moment relationships), 평균응력계수(mean stress factor, α)와 도심계수(centroid factor, γ)를 본 해석방법으로 산정하여, 산정된 값으로 고강도콘크리트의 강도별로 평균응력계수와 도심계수를 제안하고 본 해석방법으로 해석한 결과의 고강도콘크리트에 관한 축력-모멘트관계곡선과 기존 실험데이터의 고강도콘크리트에 관한 축력-모멘트관계곡선을 비교,검토하여 타당성을 입증하는데 있다.

3. 응력-변형을 곡선의 모델과 응력분력

3.1 철근의 응력-변형을 곡선모델

철근의 응력-변형을 곡선모델은 기존의 많은연구자들에 의해 실험으로 구한 것에 근사적으로 표현할 수 있는 그림 3.1에 있는 복합곡선모델(complex curve model)을 사용하였다.

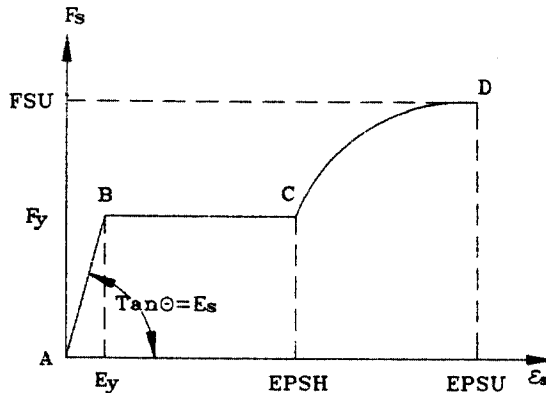


그림 3.1 철근의 응력-변형을 곡선모델(복합곡선모델)

3.2 콘크리트의 응력-변형을 곡선모델

국내,외적으로 압축강도가 $400\text{kg/cm}^2 \sim 500\text{kg/cm}^2$ 인 실험되어있는 공시체($\phi 10 \times 20\text{cm}$) 200개의 실험데이터를 수집하여 대수회귀분석과 각 불확실한 변수사이의 상호관계를 이용한 다중회귀분석을 이용하여 고강도콘크리트의 근사적인 상승곡선과 하강곡선을 그림 3.2에서와 같이 모델화 하였다.

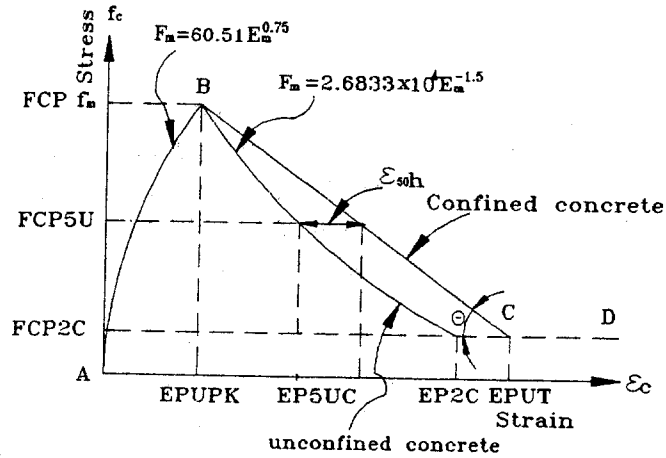


그림 3.2 콘크리트의 응력-변형을 곡선모델

400kg/cm² ~ 500kg/cm² 의 고강도 콘크리트의 경우

영역 AB ($E_m < EPUPK$)

$$F_m = 60.51 E_m^{0.75}$$

$$F_m = 11.24(2.00 \times 10^{-6} F_{CP} + 6.31 \times 10^{-10} + 0.8 \times 10^{-8} EPUPK^{0.64})^{0.75} \quad (1)$$

영역 BC ($EPUPK < EP2C$)(비구속일 경우)

$$F_m = 2.68 \times 10^4 E_m^{-1.50} \quad (2)$$

영역 BC ($EPUPK \leq E_m \leq EP2C$)(구속일 경우)

$$F_m = F_{CP}[1 - Z(E_m - EPUPK)] \quad (3)$$

비구속된 콘크리트에 대해서는

$$EP5UC = F_{CP2C}$$

영역 CD ($EP2C \leq E_c \leq EPUT$)

$$F_m = F_{CP2C} \quad (4)$$

3.3 응력블럭

응력블럭은 대한 연구는 콘크리트가 발명되면서 시작되었다고 하여도 과언은 아니다. 처음에는 1899년 포물선(parabola distribution)응력분포의 이론이 정립되었고, 1904년 등가블럭응력분포(rectangular distribution)의 이론이 정립되었고, 현재 보통강도콘크리트에서는 등가블럭응력분포가 완전히 이론으로 정립이 되어있다. 또한 고강도 콘크리트에 대한 연구는 ACI 363 고강도 분과위원회에서 각종 응력블럭을 통하여 고강도콘크리트에서는 보통강도콘크리트에서 정립된 이론을 바탕으로 한 등가블럭분포를 사용하는 것이 약간의 문제점으로 나타나 사다리꼴 응력블럭을 사용하는 것을 고려할 필요가 있다고 밝히고 있다. 그러나 고강도콘크리트에 대한 응력 분포는 기존의 kent-park 곡선에서 강도를 변화시켜 사용한 것이 현실이다. 최근에는 많은 연구자들에 의해서 실험과 해석적인 방법을 통하여 정립이 되어가고 있다.

4. 해석방법

4.1 몬테카를로 시뮬레이션을 도입하기위한 불확실한 변수의 선택

모든 콘크리트 구조물들은 불확실한 변수를 포함하고 있다. 그래서 다음과 같은 변수를 선정하였다.

- (1) 철근의 항복강도
- (2) 콘크리트 구조물들의 최대압축강도
- (3) 철근의 탄성계수
- (4) 최대 압축강도에서의 압축변형을
- (5) 콘크리트 구조물의 파괴시의 극한변형을
- (6) 소성힌지길이

불확실한 변수를 응답방정식의 해석적인 정확성을 보완하기위하여 신뢰성 지수를 도입하였다.

- (7) 모멘트 용량계산에 포함되는 신뢰성 지수
- (8) 항복변위계산에 포함되는 신뢰성 지수
- (9) 극한변위계산에 포함되는 신뢰성 지수

4.2 몬테카를로 시뮬레이션 해석방법

수치 계산면에서는 수계산을 하는 구조물의 응답에 대한 불확실한 변수 (uncertainties variables)를 양적으로 나타내는 방법으로 테일러 급수확장(taylor series's expansion)을 이용하여 외력에 의한 응답불확실한 변수와 구조물에 내포되어 있는 불확실한 구조적인 변수들사이의 선형적인 관계(linear relationships)를 정식화한 선형통계학적인 방법(linear statistical method)을 이용하였는데, 이 방법을 표준화된 난수를 이용, 컴퓨터 시뮬레이션방법을 선택하여 구조물에 내포되어 구조적인 변수와 응답 불확실한 변수를 이용하여 구조물들의 내력을 평가하여 최종적으로 축력-모멘트 관계를 산정한다. 고강도콘크리트 평형방정식($400\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 500\text{kg}/\text{cm}^2$)을 유도하기 위하여 실제적인 응력분포곡선을 이상화한 사다리꼴응력분포와 등가응력분포를 고강도콘크리트의 압축 및 인장철근을 콘크리트 단면에서의 힘과 모멘트의 평형방정식을 구성하면 다음식과 같다.

$$P = (1 + \beta)/2 \times af_c bkd + \sum f_s (A_{s_i} + A_{s_i}') \quad (5)$$

$$M = (1 + \beta)/2 \times af_c' bkd(l_w/2 - \gamma y) + \sum (f_{s_i} A_{s_i} + A_{s_i}') (l_w/2 - d_i) - P'e \quad (6)$$

$$P = af_c bkd + \sum f_s (A_{s_i} + A_{s_i}') \quad (7)$$

$$M = \alpha f_c' b k d (l_w - \gamma k d) + \sum (f_{si} A_{si} + A_{si}') (l_w / 2 - d_i) - P' e \quad (8)$$

평균응력계수와 도심계수는 식(9),(10)에서와 같다.

$$\alpha = \frac{\int_0^{\epsilon_m} F_m d\epsilon_m}{F_m \epsilon_m} \quad (9)$$

$$\gamma = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_m} F_m d\epsilon_m}{F_m \epsilon_m} \quad (10)$$

된다. 위의 식을 이용하여 표준화된 난수를 도입, 이용하여 Taylor's series에서의 편미분을 간략화하여 일반화 시켜 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하면 그 과정은 그림 4.1과 같다.

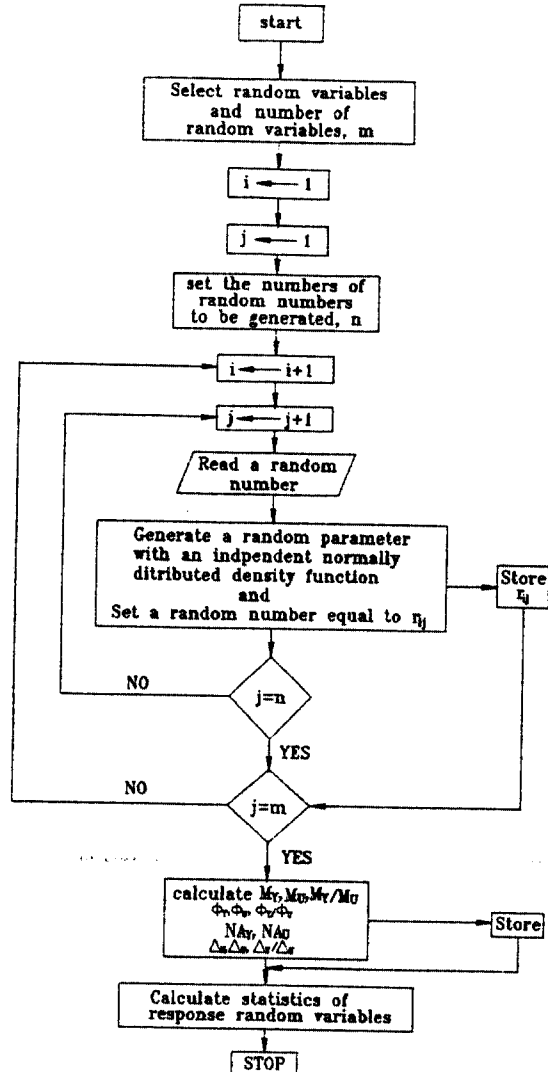


그림 4.1 몬테카를로 시뮬레이션 해석 순서도

5. 결론

5.1 해석결과

본 해석방법을 수행하여 고강도콘크리트에 대한 축력-모멘트관계와 다음과 같은 결론을 얻었다.

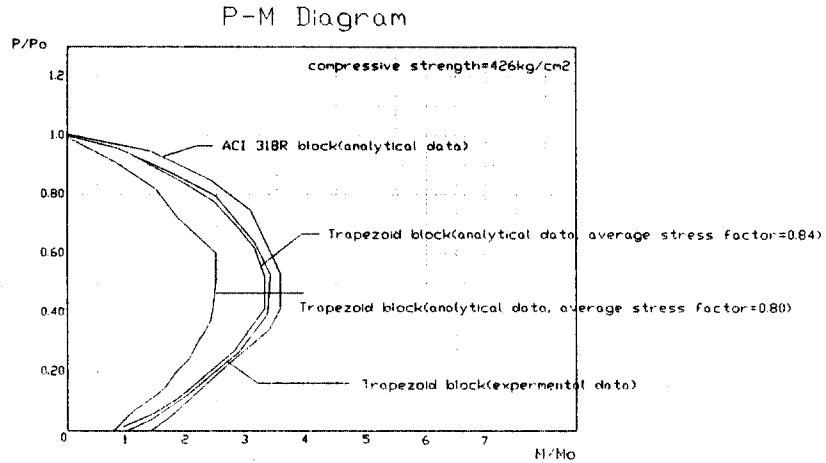


그림 5.1 고강도콘크리트의 평균응력계수에 대한 축력-모멘트 관계

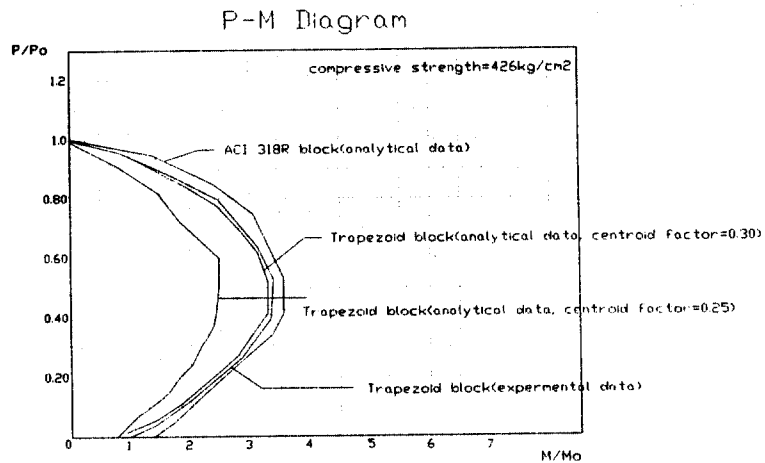


그림 5.2 고강도콘크리트의 도심계수에 대한 축력-모멘트 관계

- 1) 본 저자가 이전의 논문에서와 같이 고강도콘크리트에서는 사다리꼴 응력분포를 적용하는 것이 타당하다고 나타났다.