

이축 휨 모멘트를 받는 철근콘크리트 전단벽의 신뢰성 해석

Reliability Analysis of Reinforced Concrete Shear Wall Subjected to Biaxial Bending

박 재 영* 신 영 수**
Park, Jae Young Shin, Yeong-Soo

ABSTRACT

The safety of buildings is generally estimated by analyzing a plane frame ignoring a minor bending moment. In this paper, uncertainties of reinforced concrete shear wall subjected to a biaxial bending are considered. First, major parameters are selected from all parameters of general shear wall design to perform a reliability analysis in their practical ranges, means and standard derivations of selected design parameters for the reliability analysis are calculated by a data mining as a simulation method. The bi-section method is used to find inclined neutral axis and its limit state using MATLAB subjected to the concept of strength design method. The reliability index β as a safety index is calculated based on AFOSM(Advanced First-Order Second Moment) method. Also, if target reliability index β_T is decided by an engineer an amount of reinforcement can be calculated by subtracting the reliability index β from the target reliability index β_T .

1. 서론

최근에 불확실성을 합리적으로 평가하기 위해 확률론(Probability)에 기초한 신뢰성 해석(Reliability Analysis) 기법이 위험도 분석 및 안전도 평가에 적용되고 있다. 구조 신뢰성 해석은 불확실성을 고려하기 위하여 구조해석에 사용되는 요소들을 확률변수로 정의하고, 확률-통계이론을 적용하여 구조물의 안전성에 대한 정량적인 지표 즉 신뢰도 지수(Reliability index β)를 계산해 낸다. 본 연구에서는 구조신뢰성 해석이론을 바탕으로, 이축 휨을 받는 철근콘크리트 전단벽에 대한 확률론적인 안전성 평가를 수행할 수 있는 방법을 개발하고자 한다.

본 연구의 기법은 먼저 실측한 일련의 확률 데이터를 난수추출법(Random Number Sampling Method)에 의해 새로운 데이터들을 추출하고, 개선된 1계2차 모멘트법(Advanced First-Order Second Moment: AFOSM)에 의한 신뢰도지수 β 를 구한다. 일반적으로 이축 휨을 받는 철근콘크리트 전단벽 해석에는 일축 휨으로 변환하여 계산하는 약산법이 주로 사용되고 있다. 그러나 이 약산법 자체가 가지고 있는 오차로 인하여, 확률론적인 안전성 평가에 적용하는데 문제가 있다.

이에 본 연구에서는 축력 및 이축 휨 모멘트를 받는 철근 콘크리트 전단 벽 해석에 있어서 약산해법이 아닌 정해법으로 해석할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 해석 결과를 바탕으로 구해진 신뢰도 지수로부터 파괴확률을 알 수 있으며 안전성 평가수단 및 보강의 적합성 판정에도 이용할 수 있다.

* 정회원, 이화여자대학교 건축구조연구실 석사과정

** 정회원, 이화여자대학교 건축학과 교수

2. 신뢰성 해석을 위한 확률변수

본 연구에서는 이축 휨과 압축을 받는 철근콘크리트 전단벽이 가지는 실제적인 저항력의 크기와 그 분포에 영향을 미치는 인자로서 크게 콘크리트 및 철근의 강도와 그 통계적 특성, 부재 단면치수의 통계적 특성을 고려하기로 하였다. 그러나 품질관리정도, 모델링의 정밀도 등과 시간의 변화에 따라 나타나는 피로 부식효과 및 재료성질 상호간의 상관정도는 고려하지 않았다. 콘크리트 강도 및 철근 강도의 특성 중 각각의 탄성계수의 분산계수 크기는 여타 기본 변수의 분산계수보다 작으며, 부재의 저항에 미치는 영향이 작기 때문에, 본 연구에서는 확정변수로 간주하였다. 또한 배근된 철근 개수가 확정변수로 주어진 경우, 임의의 생성된 철근 피복두께와 단면치수에 따라서 내부 철근 간격은 확정변수로서 등간격으로 배치된다고 가정하였다. 다음 표 1은 본 연구에서 고려한 확률변수와 각각의 확률 특성의 표준편차를 정리한 것이다.

표 1 확률변수의 분류

강도 특성	고려된 확률변수	COV
콘크리트 강도의 확률 특성	콘크리트 압축강도 콘크리트 탄성계수	15% 확정변수
철근항복강도의 확률 특성	탄성계수 철근의 단면적 철근의 항복강도	확정변수 15.5% 8%
부재 단면 치수의 확률 특성	단면치수 오차 철근 피복 두께 내부 철근의 위치 특성	1.78% 5% 확정변수

3. 이축 힘을 받는 RC 전단벽의 신뢰성 해석

3.1 프로그램 구성

본 연구에서는 이축 힘을 받는 철근 콘크리트 전단벽에 대한 신뢰성 해석을 수행할 수 있는 프로그램을 MATLAB을 사용하여 개발하였다. 이 프로그램은 임의의 단면을 가지는 전단벽에 대한 이축 휨에 대하여 단면해석과 신뢰성 해석을 수행할 수 있도록 개발하였으며 전체 흐름도는 그림 1에 나타내었다. 전단벽의 단면해석만 수행하는 경우에는 주어진 응력에 대해 단면해석 후 안전성 여부를 판단하고 종료한다. 신뢰성 해석을 수행하는 경우는 먼저 입력변수의 평균과 표준편차를 이용하여 새로운 평균과 표준편차를 계산하여 단면해석을 수행하고 마지막으로 신뢰성 해석을 수행하게 된다. 확률변수의 분포특성이 반영된 새로운 평균과 표준편차를 얻기 위해서는 난수 추출 횟수가 충분하여야만 한다.

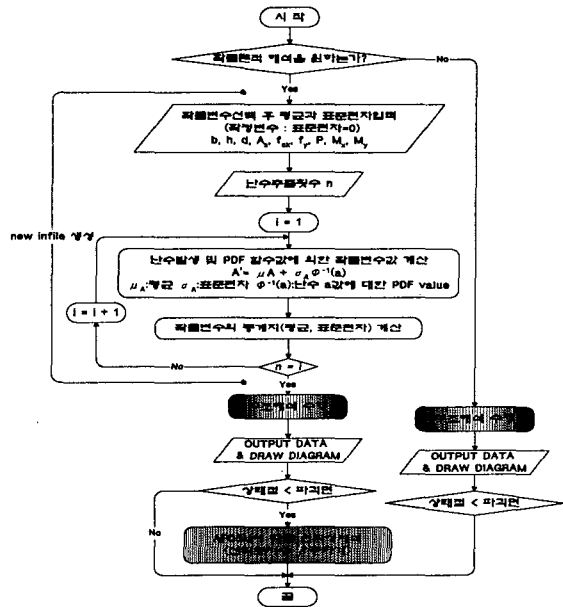


그림 1 프로그램 전체 흐름도

3.2 단면 해석 부분

일반적으로 철근콘크리트 전단벽은 압축재인 기둥으로 간주하여 설계되므로, 본 연구에서는 철근콘크리트 전단벽을 기둥 설계법으로 분석하였다. 이축 힘을 받는 전단벽의 단면해석에 대한 전체 흐름도는 그림 2에 나타내었다. 먼저 입력 데이터로부터 최대 압축력을 구하고, 힘에 대해서는 그림 3의 일축 힘 단면해석을 수행한다. 단, 이축 힘이 작용할 때에는 M_x 와 M_y 에 대해 일축 단면해석을 각각 한 번씩 수행한 후 α 각을 0° 에서 90° 까지 변화시키며 그림 4와 같은 BIAXIAL을 수행한다. 본 연구에서는 α 각을 2° 씩 증가시켜 총 47단계의 계산을 반복 수행하여 3차원 P-M 상관도에 의한 파괴 면을 형성하도록 하였다. 앞서 설명한 바와 같이 단면해석 부분은 이축 힘을 받는 철근콘크리트 전단벽의 정해법을 이용하여 3차원의 P- M_x - M_y 상관도와 상태점의 관계를 도시하며, 안전 유무를 판단한다.

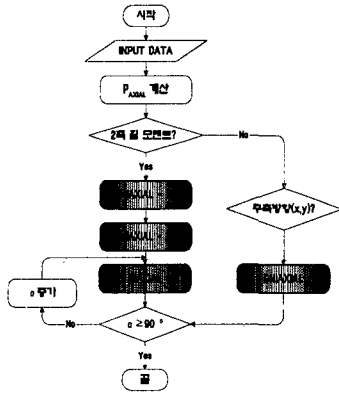


그림 2 단면해석 전체흐름도

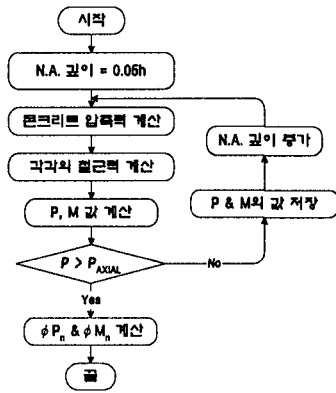


그림 3 UNIAxIAL의 흐름도

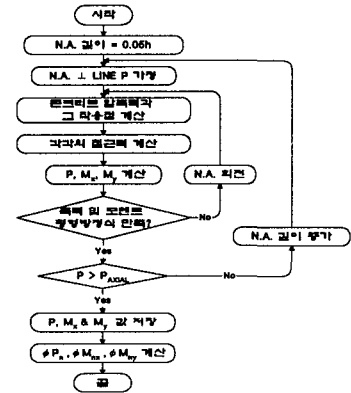


그림 4 BIAXIAL의 흐름도

3.3 신뢰성 해석 부분

구조 신뢰성 해석을 수행하는데 있어서 본 연구에서는 개선된 1계2차 모멘트방법(AFOSM)을 사용하여 신뢰도 지수 β 를 산정하였다. 아주 간단한 구조물이 아니라면 한계상태의 조건만을 알 수 있을 뿐 한계상태 방정식의 함수형태를 처음부터 알고 있기란 매우 어렵다. 이축 힘 모멘트를 받는 전단벽의 해석에 있어서도 역시 함수 형태의 한계상태 방정식을 미리 정의한다는 것은 상당한 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 한계상태식을 비교적 간단한 확률변수의 함수로 표현하기 위하여 곡선 접합의 단계를 거쳐 2차원 다항식 $g'(x)$ 로 근사하여 신뢰성 해석을 실시하였다. 그림 5는 AFOSM방법에 의한 신뢰도 지수 및 파괴 확률을 구하는 흐름도를 나타낸 것이다.

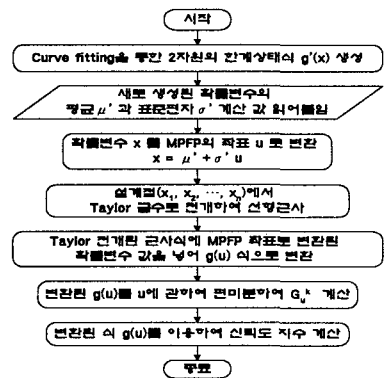


그림 5 신뢰도 지수를 구하는 과정

4. 축력 및 이축 힘을 받는 전단벽의 신뢰성 해석 적용

본 모델에 대한 확률 변수는 앞서 열거한 바와 같이 콘크리트 압축강도 (f_{ck}), 철근의 단면적 (A_s), 철근의 항복강도 (f_y), 단면치수 (b, h)이며, 부재는 탄성거동을 한다고 가정하였다. 실험체는 그림 6과 같이 전단벽이 콘크리트 보와 슬래브에 의하여 구속되어 있다. 표 2에는 단면에 대한 입력 데이터의 확률 변수에 관한 통계치(위)와 난수 추출 횟수 n 을 500번으로 새로운 확률 변수의 결과 값(아래)을 나타내었다.

표 2 전단벽 입력 변수의 통계적 특성

	Var	f_{ck} MPa	f_y MPa	A_s mm ²	h mm	t mm	P_u tonf	M_{ux} tonf · m	M_{uy} tonf · m
통계치	mean	27	400	995	1830	150	715	190	50
	st.dev.	4.05	32	154.23	32.57	2.67	71.5	19	5
	st.dev(%)	15%	8%	15.5%	1.78%	1.78%	10%	10%	10%
결과값	mean	27.07	399.78	994.47	1828.91	150.13	714.29	189.12	49.87

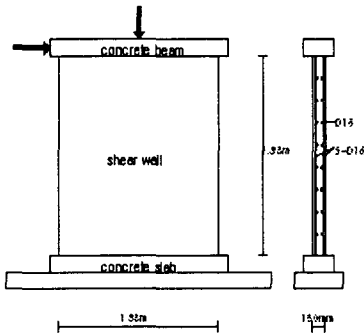


그림 6 전단벽의 모델링

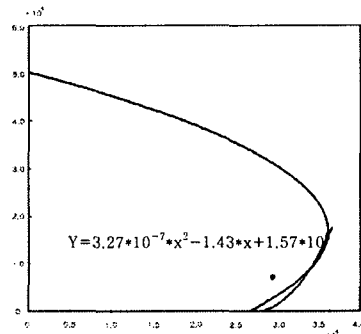


그림 7 전단벽모델의 P-M상관도

추출법으로 새로 생성된 입력 데이터를 이용하여 한계상태식을 구할 수 있었다. 전단벽 해석 후 안전하였고, 신뢰성 해석을 하기 위한 한계상태식은 그림 7과 같이 상태점이 위치한 인장지배 영역의 곡선 접합으로 얻을 수 있었다. 본 적용 예에 대한 신뢰도 지수 β 와 파괴확률 P_f 는 각각 3.66과 1.261×10^{-4} 이다.

5. 결론

본 연구에서는 철근콘크리트 전단벽이 축 하중과 이축 휨 모멘트를 받을 때의 신뢰성 해석 방법을 제시하였다. 연구를 수행한 결과, 강도설계법에 의한 단면 해석의 경우 단면의 안전성 여부만 알 수 있지만 본 연구에서 제시한 전단벽의 정해법과 Level III와 Level II의 단점이 보완된 신뢰성 해석에 의해서는 신뢰도 지수 β 를 손쉽게 계산할 수 있으며 이로 인해 안전성의 정도를 정량적으로 판단할 수 있다.

참고문헌

1. 이화미, "이축 휨 모멘트를 받는 철근콘크리트 단주의 신뢰성 해석", 이화여자대학교 석사학위 논문, 2002
2. 김요숙, 신영수, 이화미 "철근콘크리트 전단벽의 수정된 AFOSM 해석에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 18권 2호, 2002.2, pp.11-17
3. 홍원기, "신뢰성 이론을 이용한 전단벽 응답감소계수의 산정", 대한건축학회논문집, 13권 5호, 1997.5, pp.233-247
4. Andrzej S. Nowak, "Reliability of Structures", University of Michigan, 1997, p.370
5. Mirza, S. A., & Macgregor, J., G., "Variability of Mechanical Properties of Reinforcing Bars", ASCE, Vol. 105, No. ST5, 1979, pp.921-937