

내진 상세 철근콘크리트 골조의 비탄성 거동에 관한 해석적 연구

Analytic Investigation on Inelastic Behavior of Reinforced Concrete Frame with Seismic Detail

박철용*
Park, cheol yong

이한선**
Lee, Han Seon

김상대**
Kim, Sang Dae

Abstract

The nonlinear analysis was performed for a 2-bay 2-story moment-resisting reinforced concrete plane frame with seismic detail using IDARC 2D program. The analytical models consist of the material model, the member model, the hysteretic model, and the damage model etc. The conclusion based on the results of analysis is as following. : (1) Story shear-displacement relationship is similar to the experiment result but from the energy point of view, the analysis result was different from the experiment result. (2) Plastic hinges were found to occur mainly in beams at first story while all the columns had plastic hinges throughout the structure. (3) Failure mode is a little different from experiment result in the yielding mechanism. (4) Damage index is about 0.25. This means that the degree of damage is moderate and can be repairable.

1. 서 론

구조물의 거동 특성을 예측하는 수단으로 가장 확실하고 정확한 방법은 실제 구조물을 실제의 하중 조건에 맞춰 실험을 수행하는 것이다. 그러나 일반적으로 실제 구조물의 거동 특성을 파악하기 위해 실험 크기로 실험을 수행하는 것은 사실상 불가능할 뿐만아니라 그것이 가능할 경우에도 그 크기와 규모에 있어서 상당한 제한을 받게 되며, 특히 각 부재에 작용하는 힘을 비롯하여 에너지 소산량, 소성힌지 형성순서 등을 실험을 통해서 나타내기 어렵다. 따라서 기존의 실험결과를 이용하여 이에 근접한

* 학생회원, 고려대 건축공학과 석사과정

** 정회원, 고려대 건축공학과 조교수

*** 정회원, 고려대 건축공학과 부교수

해석모형을 찾고, 그러한 해석모형로부터 구조물 전체 거동과 부재별 국부 거동을 확인하는 보조수단으로서 프로그램을 이용하게 된다.

연구방법으로는 2층 2경간 내진 상세설계된 철근콘크리트 모멘트 저항 연성 골조 구조물을 이용하여 변위 제어에 의한 해석을 수행하여 구조물 전체의 강도, 강성, 파괴 양상, 에너지 소산 특성 및 성능 저하 그리고 접합부, 부재 등의 국부적인 거동 특성에 대해서 분석하였다.

2. 해석 모델링

IDARC 2D 프로그램을 이용하여 해석을 수행하는데 필요한 모델링은 다음과 같다.

- ① 콘크리트와 철근의 응력-변형 특성을 나타낼 수 있는 재료 모델링
- ② 부재의 비탄성 소성 거동 특성을 나타내는 부재 모델링
- ③ 강성 및 강도 감소, 철근의 미끄러짐 현상 등의 영향을 나타내는 이력거동 모델링
- ④ 구조물의 손상을 표현하는 손상지수 모델링

2.1 재료 모델링

해석에 이용한 구조물³⁾은 <그림 2.1>에, 부재 단면³⁾은 <그림 2.2>에 나타내었다.

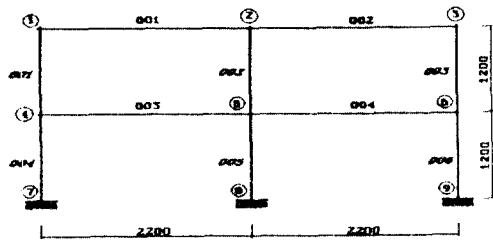
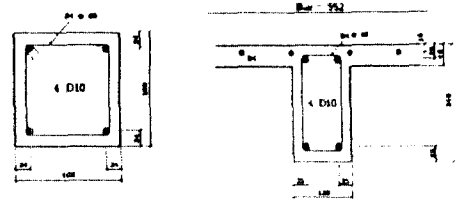


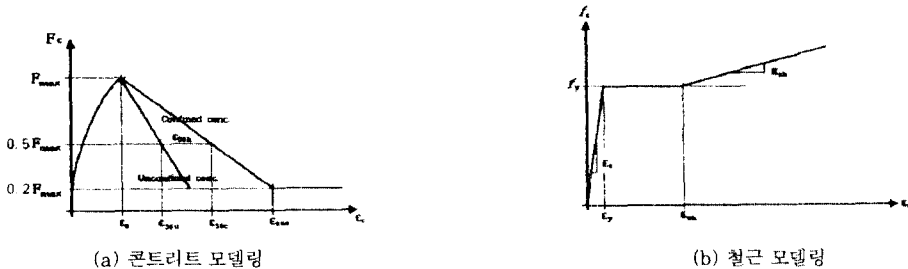
그림 2.1 해석 구조물



(a) 기둥단면 (b) 보 단면

그림 2.2 부재 단면

콘크리트와 철근의 응력-변형 관계 곡선에 대한 모델링⁴⁾은 그림 2.3에 나타내었다. 콘크리트의 경우 Kent & Park Model을 사용하였고 철근의 경우 Trilinear 모델을 사용하였다.



(a) 콘크리트 모델링

(b) 철근 모델링

그림 2.3 재료 모델링

2.2 부재 모델²⁾

각 부재의 모멘트-회전각 관계를 구하기 위해 사용된 모델은 비탄성 단일 요소 모델이다. 여기서 모

멘트-회전각 관계는 연성계수(Flexibility Coefficient)를 부재의 절점과 변곡점사이에서 선형비례하는 것으로 가정하여 모멘트 면적법을 이용하여 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \Delta Y_A \\ \Delta M_A \\ \Delta Y_B \\ \Delta M_B \end{pmatrix} = [R_B] \{k_s\} [R_B]^T \begin{pmatrix} \Delta u_{yA} \\ \Delta \theta_A \\ \Delta u_{yB} \\ \Delta \theta_B \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

여기서

$$[R_B] = \begin{bmatrix} -1/L & -1/L \\ 1 & 0 \\ 1/L & 1/L \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[k_s] = \frac{1}{1 - \lambda_A - \lambda_B} \begin{bmatrix} 1 - \lambda_B & \lambda_A \\ \lambda_B & 1 - \lambda_A \end{bmatrix} [f_s]^{-1} \frac{1}{1 - \lambda_A - \lambda_B} \begin{bmatrix} 1 - \lambda_B & \lambda_B \\ \lambda_A & 1 - \lambda_A \end{bmatrix}$$

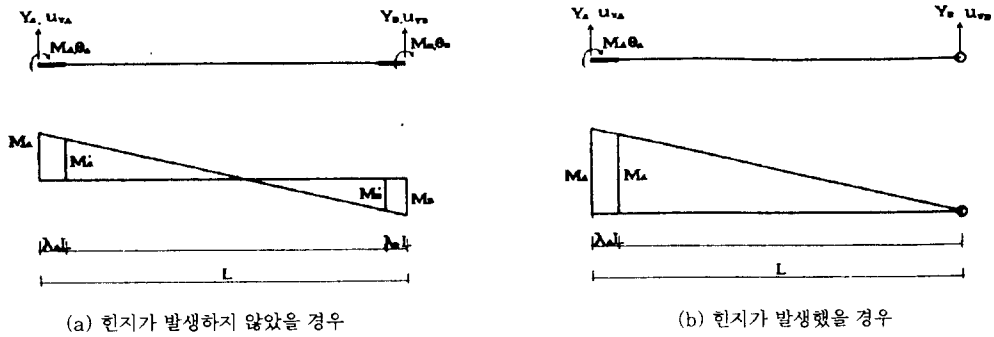


그림 2.4 Distributed Flexibility Model

만약 부재의 한쪽 끝단이 그림 2.4(b)와 같이 힌지가 형성되었을 경우 연성행렬은 식(2.1)과 다른 형태를 가지게 되며 그 관계를 정리하면 식(2.2)와 같다.

$$\begin{pmatrix} Y_A \\ M_A \\ Y_B \end{pmatrix} = \{R_B\} \left[\frac{1}{1 - \lambda_A} \right] k_s \left[\frac{1}{1 - \lambda_A} \right] \{R_B\}^T \begin{pmatrix} u_{yA} \\ \theta_A \\ u_{yB} \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

여기서 $\{R_B\} = \{-1/L \ 1 \ 1/L\}^T$

2.3 이력거동 모델링²⁾

강성 및 강도 감소, 철근의 미끄러짐 현상 등의 영향을 나타내기 위해 세가지 변수를 사용한 비대칭 Trilinear 곡선을 사용한 이력거동 모델이 그림 2.5에 나타나 있다.

2.4 구조물 손상 모델링⁵⁾

부재의 구조적 손상지수 (D_i)는 연성 및 변형 손상의 선형 결합으로 표현되어지고 반복되는 사이클릭 하중에 의한 이력에너지의 소산정도에 따라서 달라진다.

$$D_i = \frac{\delta_m - \delta_r}{\delta_u - \delta_r} + \frac{\beta E_T}{P_y \delta_u} \quad (2.3)$$

식(2.3)에 의해 계산된 손상지수는 0에서 1 사이의 값을 가지며, 0 ~ 0.4 사이의 값을 가질 경우에는 그 피해가 경미하거나 보통 정도인 것을 나타내며 이 경우에는 보수보강하여 재사용이 가능함을 뜻한다.

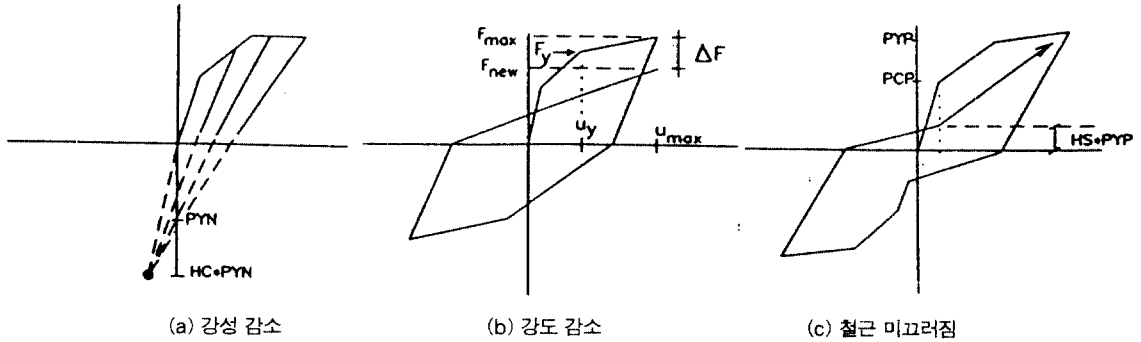


그림 2.5 이력거동 모델

3. 2층 2경간 철근콘크리트 구조물의 거동 해석

이상과 같은 모델링 방법을 이용하여 그림 3.1과 같은 변위 제어에 의한 IDARC 2D 해석1)을 수행한 후 같은 조건의 실제 구조물 실험을 하여 얻은 실험결과와 비교·분석하였다.

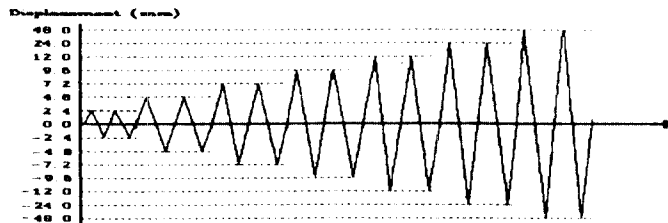


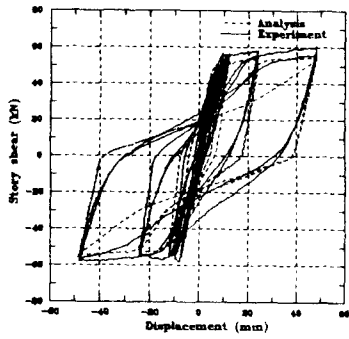
그림 3.1 입력 변위

3.1 충전단력-변위 관계

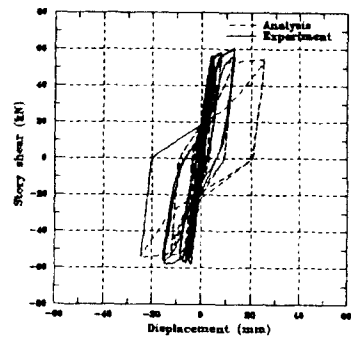
구조물의 충전단력-회전각 관계 곡선은 그림 3.2에 나타나 있다. 옥상층에서는 강도, 강성, 에너지 측면에서 해석결과와 실험결과³⁾가 매우 유사한 값을 나타내고 있으나 1층에서는 강도와 강성은 유사한 값을 가지나 에너지 측면에서 해석결과가 큰 값을 가지는 것을 알 수 있다.

3.2 충전단력-회전각 관계

1층 기둥 하부에서의 충전단력-회전각 관계 곡선은 그림 3.3에 나타나 있다. 여기서 강성, 강도 측면에서는 실험결과³⁾와 비슷한 양상을 보이거나 에너지 측면에서는 해석결과가 큰 값을 가지는 것을 알 수 있다.

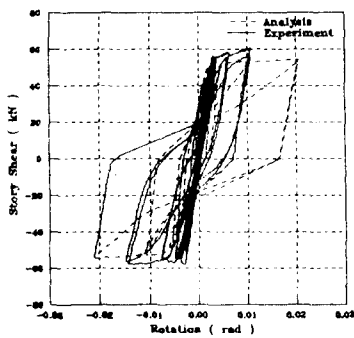


(a) 옥상층

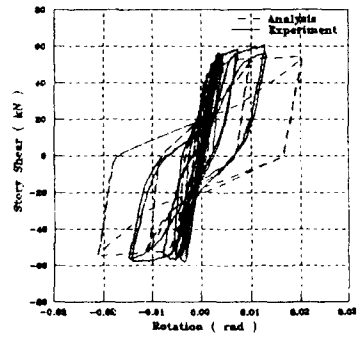


(b) 1층

그림 3.2 층전단력-횡변위 관계



(a) 외부 기둥

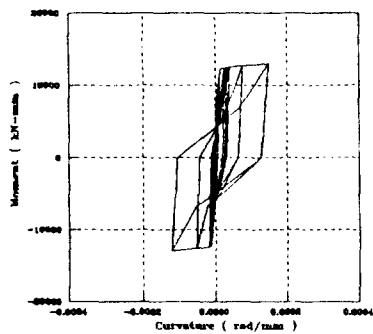


(b) 내부 기둥

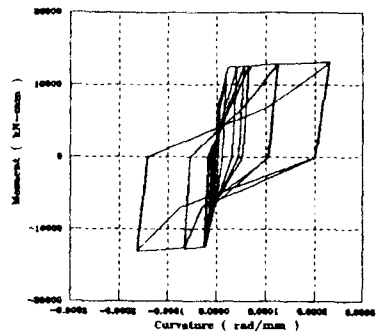
그림 3.3 1층 기둥 하부에서의 층전단력-회전각 관계 곡선

3.3 모멘트-곡률 관계

기둥과 보의 모멘트-곡률 관계곡선은 그림 3.4에 나타나 있다. 항복현상을 나타내고 있는 1층 보 부재와 1층 내부 기둥 하부에 대하여 에너지 소산량을 계산하였다.

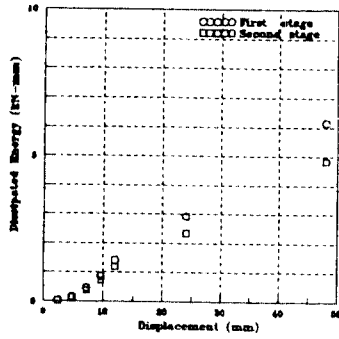


(a) 1층 좌측보 좌측 접합부

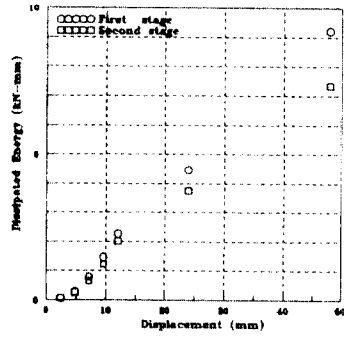


(b) 1층 내부 기둥 하부

그림 3.4 모멘트-곡률 관계 곡선



(a) 1층 좌측보 좌측부

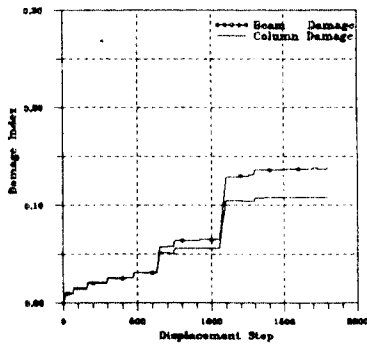


(b) 1층 내부 기둥 하부

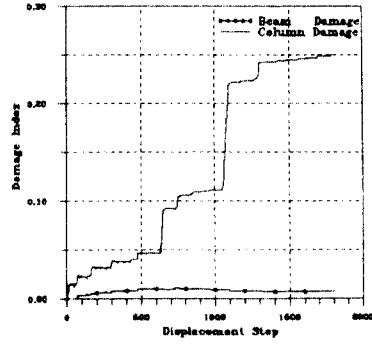
그림 3.5 에너지 소산량

3.4 손상지수

구조물의 손상지수는 각 층별, 부재별로 그림 3.6에 나타나 있다. 각 부재별 손상지수를 살펴보면 2층에서는 기둥의 손상이 월등히 크게 나타나고 있으며 1층에서는 보와 기둥의 손상정도가 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있다.



(a) 1층

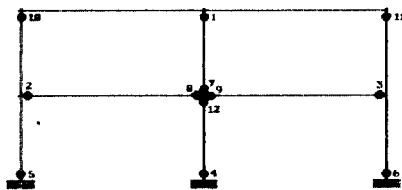


(b) 2층

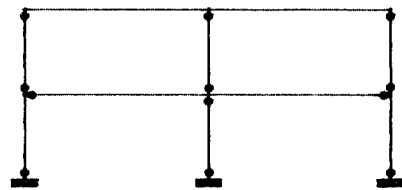
그림 3.6 손상정도

3.6 소성힌지 발생현황

구조물의 소성힌지 발생현황은 그림 3.8에 나타내었다. 해석결과에 나타난 숫자는 항복이 발생한 순서를 나타낸다. 여기서 실험³⁾에서 나타난 결과와 해석에서 나타난 결과를 비교해 볼 때 서로 상이함을 알 수 있다.



(a) 해석결과



(b) 실험결과

그림 3.8 구조물의 파괴 양상

4. 결 론

이상의 해석결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 층전단력-휨변위 관계 곡선으로부터 옥상층에서는 해석결과와 실험결과가 거의 유사한 값을 가지지만 1층에서는 에너지 측면에서 차이를 나타내고 있다.
- ② 각 부재의 모멘트-곡률 관계 곡선으로부터 보 부재의 경우에는 1층에서만 항복현상이 발생하였고, 기둥 부재의 경우에는 1, 2층에서 모두 항복현상이 발생하였으며 에너지 측면에서 볼 때 2층에서 더 큰 값을 가지는 것으로 나타났다.
- ③ 각 층별 손상지수는 2층 기둥에서 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났으며, 이때의 손상지수값은 0.25 정도로 나타났다.
- ④ 구조물의 소성힌지 현황에서 실험결과와 해석결과가 다르게 나타나고 있는데 이것으로부터 실제 구조물의 거동을 정확히 나타낼 수 있는 해석 모델을 결정하는 것이 어렵다는 것을 알 수 있다.

● 참고문헌 ●

1. Reinhorn, A.M., Kunnath, S.K., and Rodolfo Valles-Mattox, "DARC 2D Ver. 4.0 : A Program for the Inelastic Damage Analysis of Buildings," USER MANUAL
2. Kunnath, S.K., Reinhorn, A.M., and Lobo, R.F., "IDARC Version 3.0 : A Program for the Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Structures," Technical Report NCEER 92-0022, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, 1992
3. 이한선, "철근콘크리트 축소모델의 거동 상사성에 관한 연구," 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터, 1996. 2.
4. Park, R. and Paulay, T., "Reinforced Concrete Structures," John Wiley & Sons, 1975
5. Kunnath, S.K., Reinhorn, A.M., and Park, Y.J., "Analytical Modeling of Inelastic Seismic Response of R/C Structures," Journal of Str. Eng., Vol. 116, No. 4, pp. 996-1017, 1990