

철근콘크리트 골조의 비탄성 거동에 관한 실험 및 해석의 상관성

Correlation between Analysis and Experiment on Inelastic Behavior of Reinforced Concrete Frame



이한선*

Lee, Han Seon



김상대**

Kim, Sang Dae



박철용***

Park, Cheol Yong

ABSTRACT

The objectives of this study stated herein are to evaluate the reliability of the available nonlinear analysis program in predicting the inelastic behavior of reinforced concrete frame with seismic detail and to observe the redistribution of the internal forces which can not be easily measured in experiment. To do this, the nonlinear analysis using IDARC 2D program^① was performed for a 2-bay 2-story moment-resisting reinforced concrete plane frame with seismic detail. The effort to obtain the results of analysis similar to those of experiment was made by determining the values of model parameters appropriately. The comparison of the results of analysis with those of experiment and the observation of the distribution of internal forces obtained through nonlinear analysis reach the following conclusions. (1) The global relation between lateral load and lateral displacement given by the analysis is similar to that of experiment. But the values of initial stiffness and the amount of energy dissipation in the initial displacement steps in case of analysis show larger values than in case of experiment. (2) In connection with the crack pattern, the

* 정회원, 고려대학교 건축공학과 부교수
** 정회원, 고려대학교 건축공학과 부교수
*** 쌍용건설(주) 기술연구소 연구원

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 2월 30일까지 학회로 보내주
시면 1998년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

sequence in the occurrence of plastic hinges, and the failure or yielding mechanism of the whole structure, the analysis has proved to have the usefulness by providing the detailed information on the distribution and redistribution of internal forces. (3) In spite of the similarity in the global behavior between analysis and experiment, there exists significant discrepancy in some local behaviors. Furthermore, the hystereses in the relation of moment and curvature in some ends of columns have shown sudden strength deteriorations, which can not be interpreted reasonably as of now. Therefore, it is felt necessary to develop better analytical model to fill this gap.

Keywords : nonlinear analysis, reinforced concrete, moment-resisting frame, analytical model

1. 서론

지진 등과 같은 횡하중 하에서 철근콘크리트 구조물의 반응은 대부분 비탄성 영역까지 이르는 대변형을 겪게 되며 이때 발생하는 구조물의 손상이나 붕괴에 대한 예측은 구조물의 안정성 확보에 매우 중요하다. 최근 일본, 미국, 남미 등에서는 강진이 빈번히 발생하여 많은 피해를 주고 있으며, 우리나라에서도 약진이기는 하지만 지진이 자주 발생하고 있어 구조물의 지진에 대한 비탄성 영역까지 이르는 반응을 고려할 필요성이 점차 증대되고 있다.

이러한 필요성으로부터 지진 등과 같은 횡하중에 대한 구조물의 반응을 보통 해석에 의존하여 예측 또는 검토하고 있다. 그러나 이러한 해석기법은 반드시 실험에 의해 검증을 받아야 그 신뢰성을 가질 수 있다고 본다. 반대로, 실험을 통하여 측정계기로부터 얻게되는 데이터는 대체로 변형, 변위 등에 관한 것이며, 내부 힘의 변화 등을 계측하기 위해서는 정밀한 하중계기(Load cell)를 해당부위에 부착해야 함으로써 부대 실험비용의 증가 및 구조체 자체의 거동 변화 등의 우려를 야기시킬 수 있다. 따라서 실험결과 얻어진 데이터는 양적 및 질적 한계성을 가지게 되며, 이러한 한계성을 보완하기 위해 해석적 방법이 사용되게 된다. 본 연구에서는 미국 버팔로의 뉴욕 주립대에서 개발된 IDARC 2D 프로그램¹⁾을 이용하여 모멘트-저항 철근콘크리트 골조의 비탄성거동을 예측하고 실험결과와 비교하여 그 신뢰성을 검토하

고자 한다.

이 연구에서 대상으로 하는 구조물은 내진상세를 가진 R.C 평면골조로서 실험은 Fig. 1과 같이 실험체의 지붕에 횡방향의 변위를 인위적으로 변화시키는 가정적(Quasi-Static) 실험이었다. 이 실험에 관한 자세한 사항은 참고문헌(1)을 참조하기 바란다. 또한 이 실험결과 얻어진 자료의 분석을 보완하는 의미에서 내부 힘의 재분배와 소성힌지의 형성과정을 관찰하여 보고자 한다.

IDARC 2D 프로그램과 관련하여 지금까지의 연구결과를 살펴보면, Kunnath 등(1991)은 Taft 지진(1952, N69W)에 대한 2층 구조물의 변위각 IDARC 2D로 해석했을 경우와 DRAIN 2D²⁾로 해석했을 경우에 대해 그 결과의 유사성에 대해 보여주고 있고³⁾. 또 다른 논문에서 Kunnath 등(1988)은 2경간 3층 골조의 왕복 횡하중 실험결과와 IDARC 2D 해석결과의 상관성을 비교하였으며⁴⁾, Roufaiel 등(1987)은 1/2 축소 2층 골조의 진동대 실험결과와 IDARC 2D 해석결과를 비교하고 있다.⁵⁾

우선 IDARC 2D 프로그램의 해석 모델과정을 다음 2절에서 설명하고 2경간 2층 R.C 평면골조에 대하여 이 프로그램을 적용한 후 얻어진 해석결과를 3절에서 실험결과와 비교하였으며, 4절에서는 실험에서 얻을 수 없었던 내부 힘의 재분배 과정을 관찰하여 보았다.

2. 해석모델의 결정

2.1 구조물 모델

실험과 해석에 사용된 구조물의 형상 및 크기는 Fig. 1에 나타나 있다.¹⁾ 해석에서 부재 길이는 절점 중심까지 거리를 나타내고, 각 절점에서는 굽은 선으로 표시된 강직부(Rigid Zone)를 고려하였다.

2.2 재료 모델

재료실험으로부터 얻은 콘크리트의 평균 압축강도는 $337.5(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 로, 철근의 평균항복강도는 $3787.7(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 로 나타났다.²⁾

초기에 재료실험에서 얻은 평균값을 적용시켜 해석하여 본 결과 대체로 충전단력이 실제 실험결과보

다 작게 나타나 이를 약간씩 상향 조정하여 실험결과와 일치되었을 때의 값이 그림에 주어져 있다. 여기서 콘크리트의 경우 최대 압축응력까지는 Hognestad 모델을, 최대 압축응력 이후에는 후프(Hoop)와 늑근의 영향을 고려한 Modified Kent & Park 모델을 이용하였고, 철근의 경우에는 항복현상과 변형 경화현상을 고려한 Trilinear 모델을 이용하였다.¹⁾

2.3 단면 모델

실험에 사용된 기둥 및 보 단면의 크기 및 형상³⁾을 해석에서는 기둥 단면의 경우 Fig. 2(a)와 같이 실험에 사용된 단면을 그대로 이용하였고, 보 단면의 경우 ACI 318-89에 따른 유효폭 505mm를 최초 사용하였다. 그러나 해석결과와 실험결과와의 일치를 위

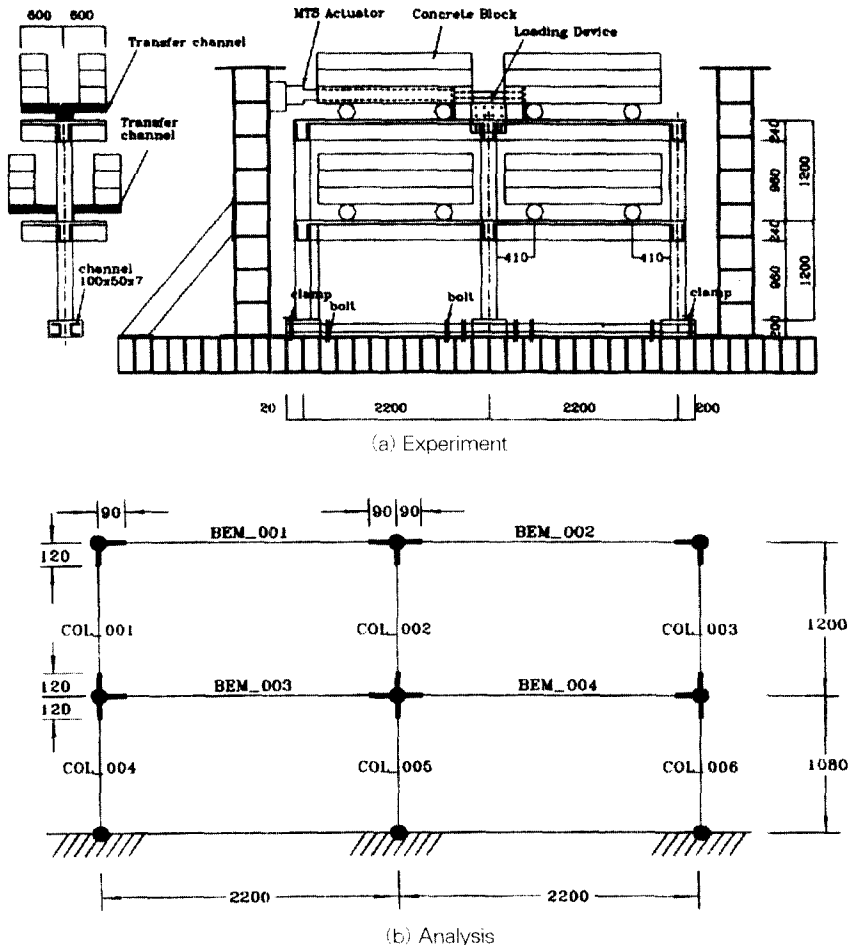


Fig. 1 Geometry and dimension of structure (unit : mm)

해 다소 조정하여 최종 사용한 값이 유효폭 552mm 이며 Fig. 2(b)와 같다.

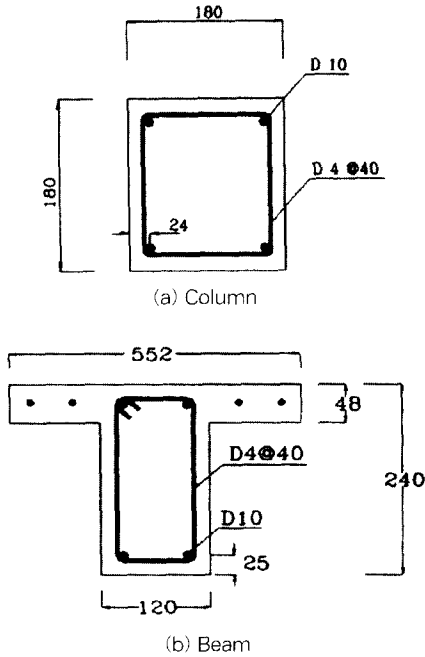
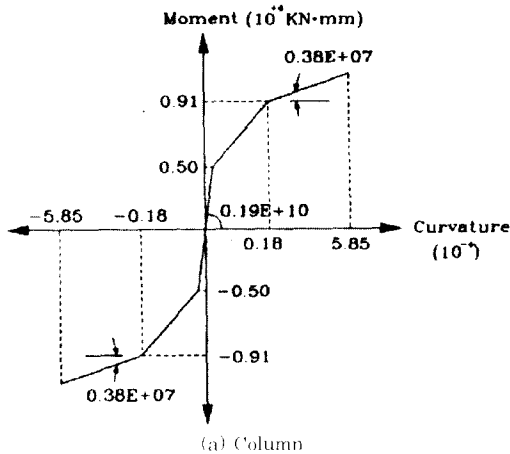


Fig. 2 Geometry, dimension and detail of sections (unit : mm)

이 단면들을 이용하여 IDARC 2D 해석 프로그램에서는 기둥과 보 단면에 대해 모멘트-곡률 관계 모델을 결정하게 되는데, 기둥과 보 단면에 각각 한 단면에 대해서만 나타내 보면, 기둥 단면은 정방형이므



로 Fig. 3(a)와 같이 대칭 Trilinear 곡선 모델로 나타나게 되고, 보 단면은 T-형 단면이므로 Fig. 3(b)와 같이 비대칭 Trilinear 곡선으로 나타낼 수 있다.

2.4 이력거동 모델

각 부재의 에너지 소산 능력을 구하기 위해 연성분포(Flexibility distribution)를 선형으로 가정한 단일요소 모델을 설정하여 부재의 양 절점에서의 모멘트-회전각 관계를 도출하였다.^{7,8)}

부재에서 주요 단면의 힘과 변형 관계는 이력곡선으로 나타나게 된다. 해석에 사용될 이력곡선 모델을 결정하기 위해서는 먼저 초기 곡선을 Fig. 3에 나타나 있는 각 단면의 Trilinear 곡선으로 가정한 다음, 하중을 제거할 경우와 하중을 다시 가하는 경우 등과 같은 반복 횡하중에 대하여 이력곡선의 강성감소 현상과 강도감소 현상, 그리고 Pinching 현상 등의 영향을 고려하게 된다.⁹⁾

강성감소 현상은 Fig. 4에 나타나 있듯이 단면의 Trilinear 곡선으로부터 첫 기울기의 반대 방향으로 연장선을 긋고, 단면의 항복 모멘트에 임의의 배수, α 를 곱하여 가정한 값을 이용하여 x 축과 평행하게 직선을 긋는다. 두 직선이 만나는 지점을 목표점(A)으로 하여 하중이 제거되는 단계에서의 곡선은, 기 도달된 최대값 혹은 최소값으로부터 x축에 이를 때까지 이 목표점(A)을 향하게 된다고 가정함으로써 강성감소 현상을 표현할 수 있다.

Pinching 현상은 Fig. 5로부터 단면의 항복 모멘

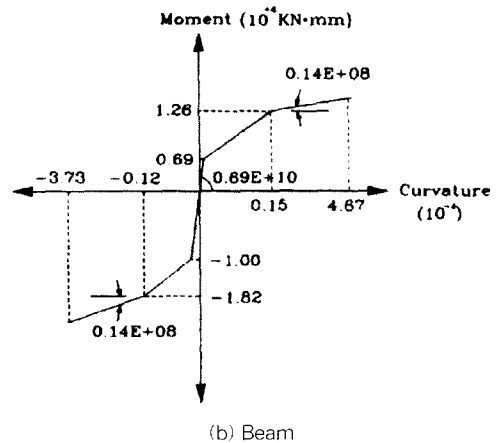


Fig. 3 Moment-curvature envelope curves

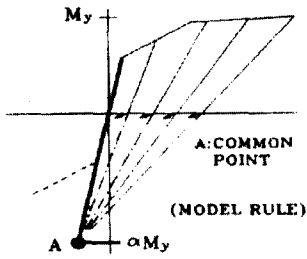


Fig. 4 Stiffness degradation effect

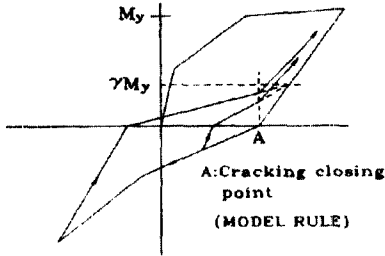


Fig. 5 Pinching effect

트에 임의의 배수 γ 를 곱하여, 그 값을 감소시킨 다음 x 축과 평행하게 직선을 긋는다. 이 직선과 하중을 제거하는 단계(Unloading step)에서의 직선이 만나는 점을 목표점으로 하여 하중을 다시 가하는 단계(Reloading step)에서의 곡선은 Fig. 5의 A점에서의 수직선과 만날 때까지 이 목표점을 향하게 되고, 그 이후에는 이전의 최대값 또는 최소값을 향하게 된다고 가정함으로써 Pinching 현상을 결정할 수 있다. 이러한 Pinching 현상의 사용으로 후기 이력 곡선의 에너지 소산량 감소 현상을 나타낼 수 있다.

강도감소 현상은 Fig. 6으로부터 하중이 최대값(A)에 도달하고 난 이후 하중이 제거되고 다시 하중을 가하는 단계(Reloading step)에서는 이전의 최대값(A)보다 더 큰 임의의 목표점(B)을 향한다고 가정하고, 이러한 재하중 단계(Reloading step)에서의 곡선은 이전의 최대 변형(ϕ)에서의 수직선과 만나는 지점(C)까지 연장되고, 이 점(C)에서 다시 하중을 제거시키게 된다. 이와같은 강도감소 현상은 강도 측면과 에너지 측면으로 나누어 고려할 수 있는데, A점에서 C점까지 감소되는 정도으로써 강도 측면에서의 강도감소 현상을 나타낼 수 있고, A점을 지난 후 이루어진 폐곡선의 면적과 C점을 지난 후 이루어

진 폐곡선의 면적을 비교하여 에너지 측면에서의 강도감소 현상을 나타낼 수 있다.

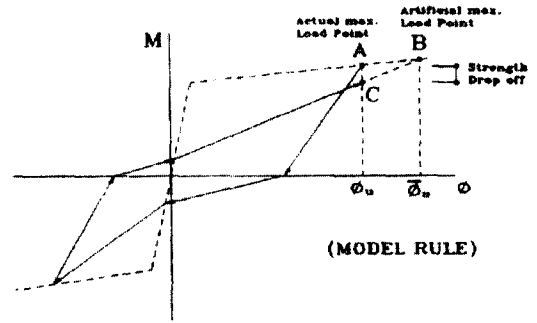


Fig. 6 Strength deterioration effect

이상과 같은 원리를 이용하여 해석에 사용되는 이력곡선은, Fig. 7과 같이 각 계수값을 결정하여 강성 감소 현상과 강도감소 현상, Pinching 현상 등의 특징을 나타낼 수 있다.¹⁹⁾

여기서 강성감소 현상은 변수 HC(α)가 클수록 강성감소 현상이 작아지는 것을 나타내는데 이것은 이

Table 1 Parameters of hysteretic model used in the analysis

Type	Stiffness degradation	Strength deterioration		Pinching effect
Factor	HC(α)	HBD	HBE	HSt(γ)
	6.0	0.0	0.05	1.0

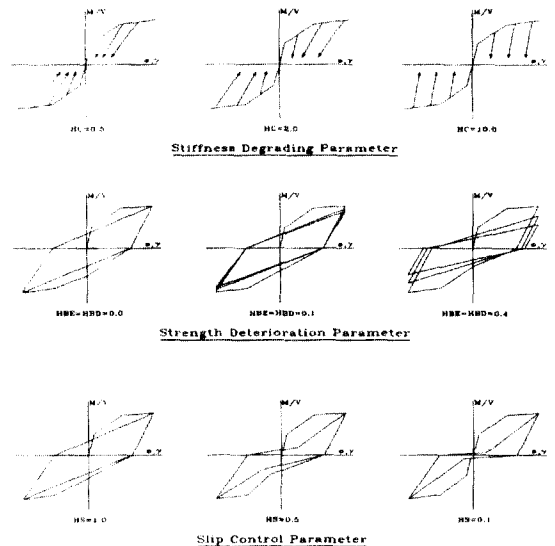


Fig. 7 Three parameters of hysteretic model for analysis³⁾

차 싸이클의 기울기가 초기 기울기와 거의 같아지는 것을 뜻한다. 강도감소 현상은 강도 측면과 에너지 측면으로 나누어 생각할 수 있는데, 강도 측면 변수 HBD는 이차 싸이클에서의 곡선이 이전의 최대값 또는 최소값과 같은 경우 0.0이라는 값을 가지며 강도가 떨어지는 정도에 따라 변수값을 증가시킬 수 있다. 에너지 측면 변수 HBE는 이력곡선의 내부 면적으로 변수값을 결정하게 되는데, 이 때 강도 측면에서 고려한 것과 같은 원리로 이력곡선의 내부면적이 감소되지 않는 경우 0.0이라는 값을 가지며 감소되는 정도에 따라 변수값을 증가시킬 수 있다. Pinching 현상은 1.0에서 0.1까지 곡선의 기울기가 작아지는 정도에 따라 계수값을 결정할 수 있다. 본 해석에서 사용한 이력거동 모델의 계수값은 Table 1에 나타내었다. 이 값은 여러 가지 크기의 값을 사용하여 그 결과를 실험결과와 비교하여 보았을 때 가장 실험결과에 근접한 해석결과를 주는 변수의 값으로서 특별한 산출단거는 없다.

3. 해석결과와 실험결과와의 상관성

이상과 같이 결정된 해석모델을 이용하여 Fig. 1에 주어진 실험체에 적용된 Fig. 8에 나타난 변위 이력을 그대로 이용하여 유사 정적 해석(Quasi-Static Analysis)을 수행하였다.¹⁰⁾ 실험결과에 해석결과를 최대한 일치시키도록 관련 변수들을 조정하였으며, 이렇게 얻어진 해석결과에 대하여 실험결과를 상호 비교하여 상관성을 분석하였다.

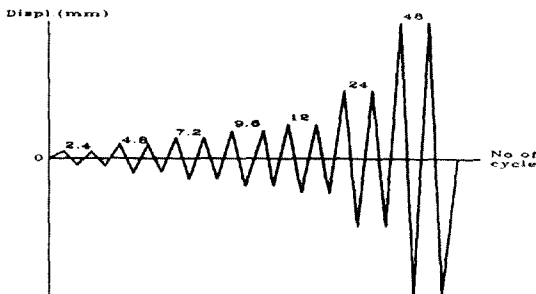


Fig. 8 Lateral displacement history at roof

3.1 전체횡력-횡변위 관계

실험과 해석으로부터 얻은 총전단력-전체 횡변위

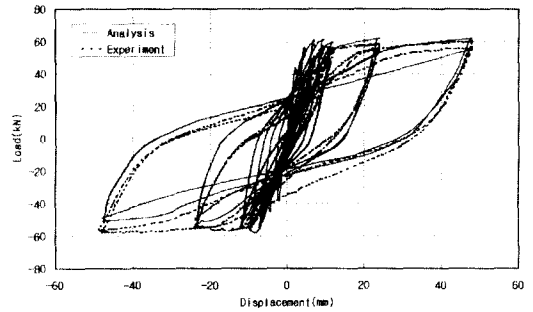
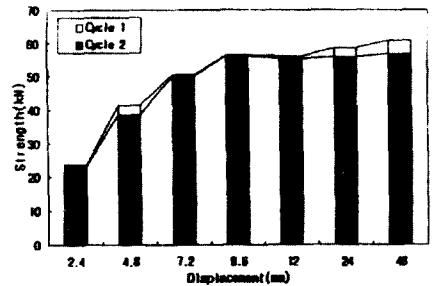
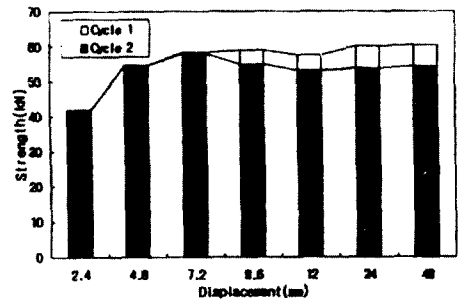


Fig. 9 Lateral load - lateral displacement relation

관계는 Fig. 9에 나타나 있다. 이들을 비교해 보면 강성측면에서 초기 강성이 해석결과에서 다소 크게 나타나고 있으며, 이차 싸이클에서의 강성감소 현상은 서로 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 강도측면에서 초기 강도가 해석결과에서 다소 크게 나타나고 있으며, 부(-)방향 하중을 받는 단계에서의 강도도 해석결과에서 실험결과보다 다소 작게 나타나고 있다. 이차 싸이클에서의 강도감소 현상은 해석결과에서 다소 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 항복현상 측면에서는 실험결과와 좌우 대칭형태를 나타내고 있으나 해석결과는 부(-)방향 하중을 받는 단계에서 뚜렷한

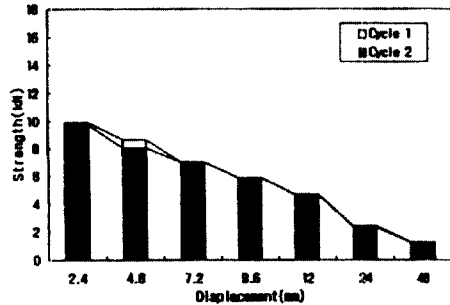


(a) Experiment

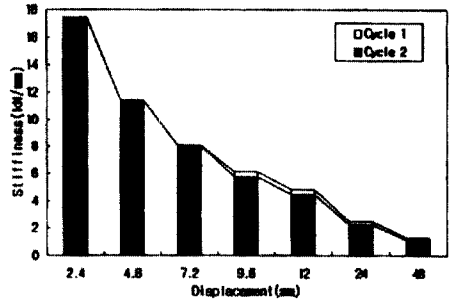


(b) Analysis

Fig. 10a Comparison of strength

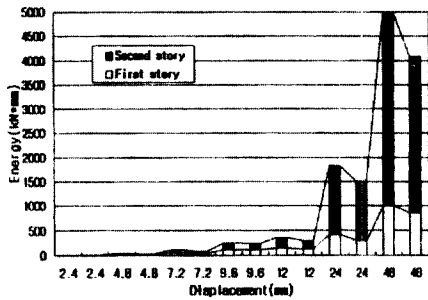


(a) Experiment

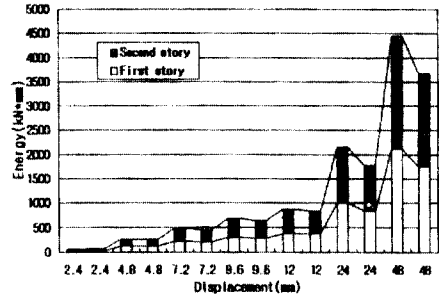


(b) Analysis

Fig. 10b Comparison of stiffness



(a) Experiment



(b) Analysis

Fig. 11 Energy dissipation capacity

항복현상을 보이고 있지 않음을 알 수 있다.

실험결과와 해석결과와의 각 변위 단계별 강도 및 강성변화를 Fig. 10a와 Fig. 10b에서 비교하여 나타내었고, Fig. 10b에서 나타난 강성은 각 변위 단계의 최대 변위에 대한 하중의 비로 계산하였다. Fig. 11과 같이 에너지 소산능력 측면에서 실험결과와 비교할 때 해석에 의해 얻어진 이력곡선은 초기단계부터 벌써 어느 정도 에너지 소산 현상을 보이고 있음을 발견할 수 있으며, 5번째 변위 단계(12.0mm)까지는

에너지 소산량이 실험결과에서보다 해석결과에서 대 체로 훨씬 크게 나타나고 있음을 보여주고 있다. 그러나 항복현상은 실험결과와 해석결과가 공히 3번째 변위 단계(7.2mm)와 4번째 변위 단계(9.6mm)에 걸쳐서 발생함을 발견할 수 있다.

3.2 층전단력-층간변위 관계

각 층에서의 층전단력-층간변위 관계를 구하여 Fig. 12과 Fig. 13에 나타내었다. 이로부터 1층에서

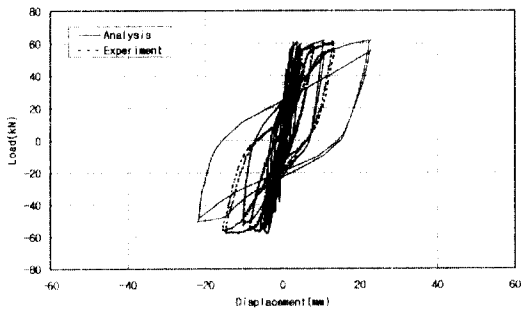


Fig. 12 Lateral load - story drift relation at the second story

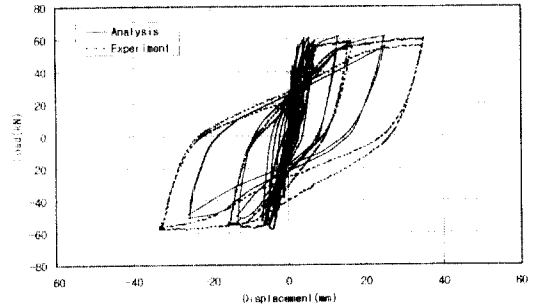


Fig. 13 Lateral load - story drift relation at the second story

는 실험결과보다 해석결과에서 비교적 큰 층간변위를 가지는 것을 볼 수 있고, 따라서 2층에서는 해석 결과가 실제보다 작은 층간변위를 가지는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상을 나타내는 이유는 실험에서는 12.0mm 변위 단계 이후부터 2층에서 연약층 파괴 (Soft story failure) 메카니즘을 나타내어 비탄성 거동이 이후 이곳에 집중되는 현상을 보이고 있는 반면, 해석에서는 최종 파괴 메카니즘이 24.0mm 변위 단계에서 발생하여 상대적으로 2층에서 비탄성 거동 집중현상이 작았던 점에 있다고 생각된다. 따라서 이런 차이로부터 이 프로그램¹¹⁾에서 주어진 모델변수만으로는 실제 구조물의 비탄성 거동을 정확히 묘사하기가 매우 어려움을 발견할 수 있었다.

3.3 횡하중-회전각 관계

실험¹¹⁾으로부터 보에서 발생할 수 있는 소성힌지 영역을 예상하여 측정계기를 Fig. 14와 같이 설치하였고, 해석에서는 Fig. 15와 같이 양 절점의 강점부 (Rigid zone)에서의 곡률을 구한 후 이렇게 구해진 곡률을 부재 길이에 따라 선형비례한다고 가정하여 서로 직선으로 연결한 뒤 빗금친 부분의 사다리꼴 면적을 구하여 이를 이 부분에서 발생한 회전각으로 간주하여 계산하였다.

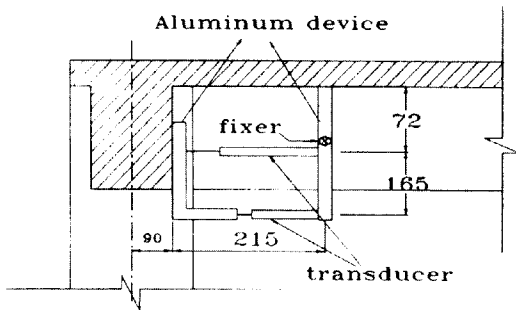


Fig. 14 Device set-up to measure the angle of rotation in beam (unit : mm)

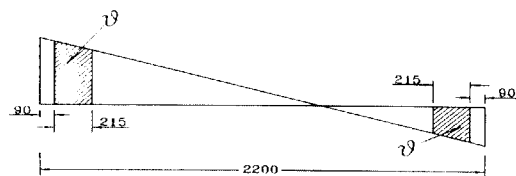


Fig. 15 Calculation of the angle of rotation in beam from analysis

이 방법으로 보의 횡하중-회전각 관계를 구하였으며, 그 대표적인 결과를 비교하여 Fig. 16에서부터 Fig. 17에 나타내었다. 여기서 실험결과에 해석결과가 대체로 양호하게 일치하는 것을 볼 수 있다. Fig. 16로부터 항복현상을 보이고 있는 1층 좌측보 좌측부에서는 해석에서 나타난 에너지 소산량이 실험에서보다 훨씬 크게 나타나고 있으나 대체적인 비탄성 거동의 경향은 일치되고 있음을 볼 수 있다.

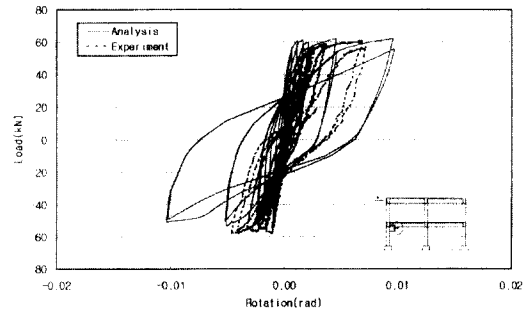


Fig. 16 Angle of rotation in the left of left beam at first story

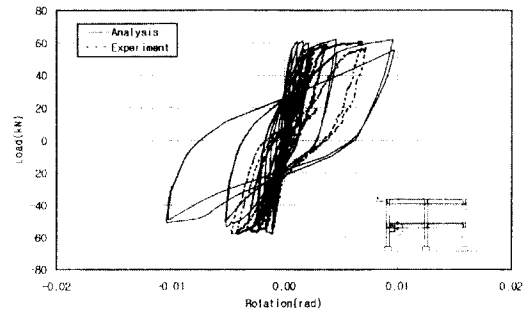


Fig. 17 Angle of rotation in the left of left beam at first story

실험¹¹⁾에서 기둥에서 발생할 수 있는 소성힌지 영역을 예상하여 Fig. 18와 같이 측정 계기를 설치하였다. 실제 실험 수행시 대부분의 큰 균열이 보와 기둥의 시공 접합부에서 발생하여, 이 측정장치에 이들이 포착되지 않으므로써 실험결과 얻어진 회전각이 실제 기둥단부의 소성회전각을 나타내지 못하고 있다는 점을 밝혀둔다. 해석에서는 Fig. 19과 같이 보에서처럼 양 절점의 강점부 (Rigid zone)에서의 곡률을 구한 후 이렇게 구해진 곡률이 부재 길이에 따라 선형분포한다고 가정하여 서로 직선으로 연결한 뒤 빗금친 부분의 사다리꼴 면적을 구하여 이것을 이 부

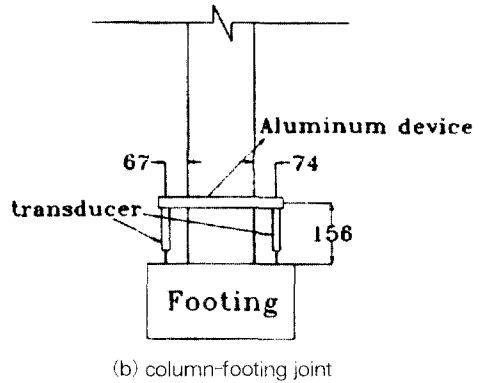
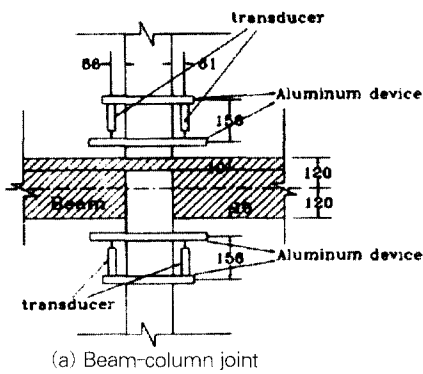


Fig. 18 Device set-up to measure the angle of rotation in column

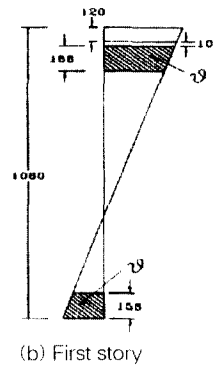
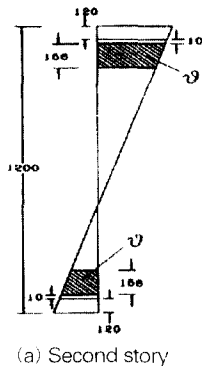


Fig. 19 Calculation of the angle of rotation in column from analysis

분에서 발생한 회전각으로 계산하였다.

이로부터 기둥 부재에서의 횡하중-회전각 관계를 구하였으며, 그 대표적인 결과를 Fig. 20 Fig. 21에 나타내었다. 이 그림들에서의 이력곡선을 살펴보면 실험결과와 해석결과가 대체로 일치하는 경향을 보이고 있으나, 강성측면에서 해석결과가 실험결과보다 대체로 크게 나타나고 있다. 또한 항복현상을 보

이고 있는 부재의 경우 에너지 소산량이 해석에서 실험보다 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 다만 Fig. 21으로부터 해석과 실험이 서로 크게 다른 결과를 나타내고 있는데, 이는 Fig. 22에 나타나 있는 스트레인게이지 측정 실험결과로부터 이 부분의 철근이 항복된 것을 발견할 수 있어 해석결과가 어느 정도 타당성이 있다고 보여지지만 전적으로 실험결과를 정

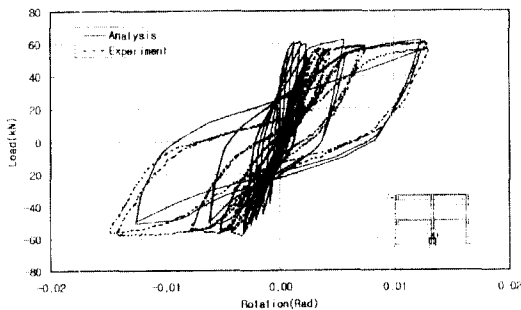


Fig. 20 Angle of rotation in the bottom of middle column at first story

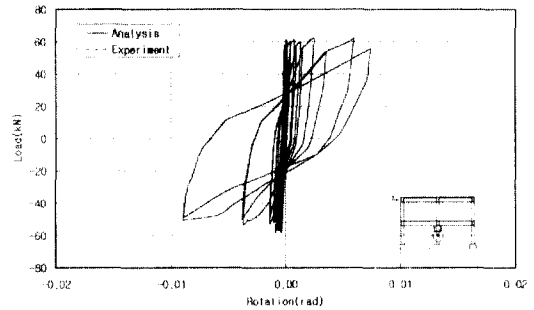


Fig. 21 Angle of rotation in the top of middle column at first story

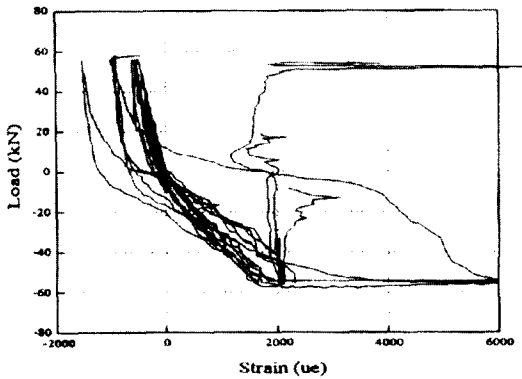


Fig. 22 Relation between load and reinforcement strain in the top of middle column at first story

확히 나타내고 있지는 않은 것으로 생각된다.

4. 해석결과에 의한 내부 힘 분포 분석

해석으로부터 얻어진 모멘트 분포를 변위 단계별로 Fig. 23에 나타내었다. 여기서 각 숫자는 각 단면의 항복 모멘트에 대한 발생 최대 모멘트의 비를 나타내는데, 보의 경우에는 기호 □ 내부에, 기둥의 경

우에는 이탤릭체로 표시하였다. 기호 ×는 처음 항복이 일어난 소성힌지를 나타내며, 기호 ●는 항복현상이 이전에 발생한 적이 있는 부위를 나타낸다. 이 결과를 이용하여 실험에 의한 구조물의 소성힌지 발생 현황과 해석에 의해 나타난 구조물의 소성힌지 발생 순서와 최종적인 소성힌지 발생 현황을 Fig. 24에 비교하여 보았다. 이로부터 실험 결과와 완전히 일치하는 해석 결과를 얻기는 어렵지만, 실험으로부터 얻은 결과와 유사한 거동을 나타내도록 유도할 수 있는 모델을 설정하는 것은 해석적으로 어느 정도 가능하

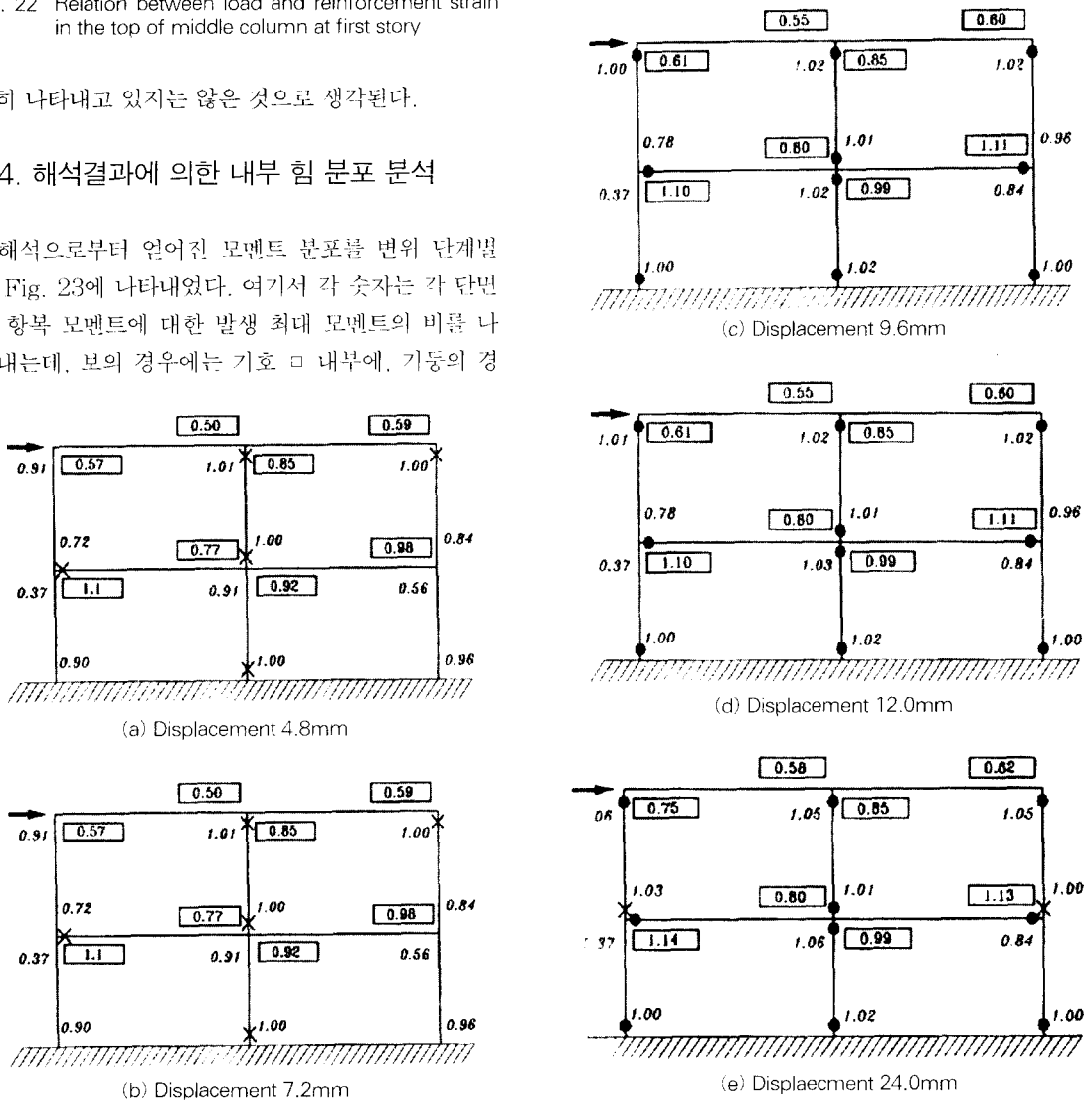
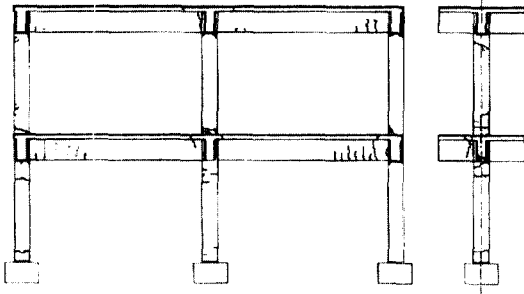
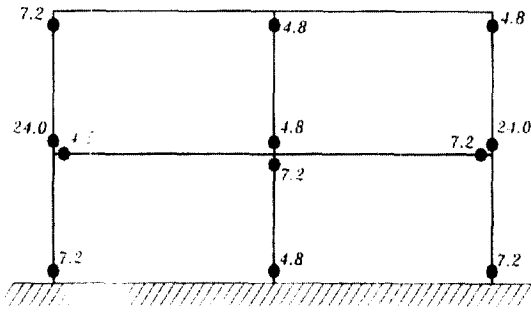


Fig. 23 Occurrence of plastic hinges in each displacement step (● : old, × : new)



(a) Experiment



(b) Occurrence of plastic hinges
(The number means displacement step)

Fig. 24 Comparison of the failure mechanisms between experiment and analysis

다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

이상과 같이 기존 비탄성 해석 프로그램의 해석모델을 이용하여 얻은 결과와 실제 수행된 실험에 의해 얻어진 결과와의 상관성 비교를 통해 해석 모델의 신뢰성을 평가하였고, 이와 같은 해석으로부터 실험에서 얻지 못한 부재의 내부 힘의 분포를 관찰하였다.

이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 해석을 통해 얻은 각 이력곡선들은 강성과 강도, 에너지 소산능력 등의 측면에서 실험에서 얻어진 결과와 대체로 비슷한 경향을 보이고 있다.

2) 그러나, 충전단력-횡변위 관계에서는 초기 강성 및 강도 측면에서 해석결과가 훨씬 큰 값을 나타내며, 에너지 소산량과 관련하여 초기에 해석결과가 크

게 나타나고 있고, 충전단력-충간변위 관계에서는 해석결과가 실험결과와 상당한 차이를 나타내기도 하였다.

3) 또한 모멘트-회전각 및 모멘트-곡률 관계에서 부분적으로 급격한 강도저하 현상 또는 작은 에너지 소산 거동이 해석결과 나타나고 있으나, 이는 실제 실험결과와는 상이한 것으로 판단되며 이러한 해석 결과는 결국 전체 횡변위-횡력 관계에서도 부분적인 차이를 낳게하는 원인이 되었던 것으로 보인다. 이러한 해석모델의 불완전성은 추후 보다 적절한 해석모델의 개발을 통해 보완되어야 할 것으로 여겨진다.

4) 소성힌지 형성 부위는 실험결과와 해석결과가 일치하게 나타나고 있다. 소성힌지 발생 순서는 1층 내부 기둥 하부에서 최초로 발생해서 1층 기둥 상부와 보 부재로 확산되면서 최종적으로 2층 기둥 하부에서 항복 현상이 관찰되므로 파괴 메카니즘에 도달하여, 실험결과와 일치되는 거동을 보이고 있다.

참고 문헌

1. 이한선, 우성우, "내진상세를 가진 2경간 2층 철근콘크리트 골조의 반복횡하중 실험", 한국콘크리트 학회지, 1996. 12.
2. 이한선, 우성우, "철근콘크리트 축소모델의 구조거동 상상에 관한 실험연구", 한국콘크리트 학회지, 1996. 12.
3. Andrei M. Reinhorn, Sashi K. Kunnath, and Rodolfo Valles-Mattox, "IDARC 2D Version 4.0: A Program for the Inelastic Damage Analysis of Buildings", USERS MANUAL, 1996.
4. R. Park and T. Paulay, "Reinforced Concrete Structures", John Wiley & Sons, 1975.
5. S.K. Kunnath, A.M. Reinhorn and J.F. Abel, "A Computational Tool for Evaluation of Seismic Performance of Reinforced Concrete Buildings", Computers & Structures, Vol. 41, No. 1, July 1990, pp 157-173.
6. S.K. Kunnath, A.M. Reinhorn, and R.F. Lobo, "IDARC Version 3.0 : A Program for the Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Structures", Technical Report NCEER-92-0022, 1992.

7. Sashi K. Kunnath, Andrei M. Reinhorn, and Young J. Park, "Analytical Modeling of Inelastic Seismic Response of R/C Structures", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 4, April, 1990, pp 996-1017.
8. Magdy S. L. Roufaiel and Christian Meyer, "Analytical Modeling of Hysteretic Behavior of R/C Frames," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 3, March, 1987, pp 429-444.
9. Jerry E. Stephens and James T. P. Yao, "Damage Assessment Using Response Measurements," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 4, April, 1987, pp 787-801.
10. Young-Ji Park and alfre do H.-S. Ang, "Mechanistic Seismic Damage Model For Reinforced Concrete," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 4, April, 1985, pp 722-739.

요 약

본 논문의 목적은 내진상세를 가진 철근콘크리트 골조의 비탄성 거동 예측에서 현재 사용되고 있는 해석적 방법이 가지는 신뢰성을 검토하고 실험에서 실측할 수 없었던 내부 힘의 분포 및 변화과정을 관찰하는 것이다. 이를 위하여 이미 실험이 수행된 2경간 2층 내진상세 모멘트-저항 철근콘크리트 평면골조(1)를 대상으로 IDARC 2D 프로그램(3)을 사용하여 비탄성해석을 수행하였다. 해석결과가 실험결과에 최대한 일치하도록 관련 모델 변수들을 조절하였다. 이러한 해석결과가 실험결과와 어느정도 일치하는 지 비교하였으며, 해석결과 얻어진 내부 힘의 발전과정을 관찰한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

(1) 전체 횡력-횡변위 관계는 실험결과에 매우 유사하게 해석결과를 얻을 수 있다. (2) 구조물의 힘의 분포 및 재분배 과정에 관련하여 해석은 구체적인 정보를 제공하였으며 실험결과 나타난 균열 및 변형결과와 대체로 일치한 소성힌지 발생과 파괴메카니즘을 나타내어 그 유용성을 입증하고 있다. (3) 해석결과가 대체로 실험결과와 일치하나 국부거동과 관련하여 일부분 실제거동과 상당한 차이를 나타내어, 보다 정확한 모델을 개발할 필요성을 느낀다.

(접수일자 : 1997. 6. 24)