

# 단부 철근콘크리트 중앙부 철골조로 이루어진 혼합구조보의 비선형 이력거동

## Nonlinear Hysteretic Behavior of Hybrid Steel Beams with Reinforced Concrete Ends

이 은 진†      김 옥 종\*      문 정 호\*\*      이 리 형\*\*\*  
Lee, Eun-Jin      Kim, Ook-Jong      Moon, Jeong-Ho      Lee Li-Hyung

(논문접수일 : 2002년 1월 10일 ; 심사종료일 : 2002년 4월 30일)

### 요 지

본 연구에서는 단부 철근콘크리트와 중앙부 철골로 이루어진 혼합구조보의 비선형 이력거동에 대한 해석 모형을 제시하였다. 해석을 위하여 IDARC2D 프로그램을 사용하였으며, 기존의 실험결과를 대상으로 적절한 모형화 기법과 계수를 제시하였다. IDARC2D의 다각형 모형은 부재의 초기강성을 과대평가할 수 있기 때문에, 먼저 혼합구조보의 초기강성을 적절히 표현할 수 있는 새로운 혼합모형을 도입하였다. 그리고 혼합모형을 이용하여 혼합구조보의 이력거동을 적절히 표현할 수 있도록 이력거동 계수들을 제시하였다. 끝으로 해석한 결과를 실험결과와 비교·평가하였으며, 초기강성은 5%이내, 강도는 10%이내의 우수한 결과를 보였다.

**핵심용어** : 혼합구조보, 다각형 모형, 혼합 모형, 초기강성 계수, 이력거동

### Abstract

This paper presents an analytical model on nonlinear hysteretic behavior of hybrid steel beam with reinforced concrete ends. The modeling method and appropriate coefficients with IDARC2D were proposed from the comparison with previous test results. Since the polygonal model of IDARC2D may overestimate, new analytical model with the initial stiffness reduction coefficient was proposed. The hysteretic coefficients for the analysis of the hybrid steel beam with reinforced concrete ends were also presented. The analytical results were compared with previous experiments. The initial stiffness and the strength were predicted with less than 5% error and 10% error, respectively.

**Keywords** : Hybrid beam, Polygonal model, Hybrid model, Initial stiffness factor, Hysteretic behavior

† 책임저자, 정회원·한양대학교 건축공학과 박사과정

전화: 02-2290-1720; Fax: 02-2281-2557

E-mail: eunjin00@empal.com

\* 정회원·한양대 건축공학과 박사과정

\*\* 정회원·한남대 건축공학과 교수

\*\*\* 정회원·한양대 건축공학부 교수

• 이 논문에 대한 토론을 2002년 9월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2002년 9월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

최근 미국, 일본 등 선진국을 중심으로 복합구조에 대한 관심이 높아지면서, 여러 가지 합성부재나 혼합구조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>1),2)</sup> 철근콘크리트구조와 철골구조의 장점을 적절히 이용할 수 있는 복합화 공법은 매우 효율적인 구조 시스템이라 할 수 있으며, 현재 여러 각도에서 연구가 진행되고 있다. 이러한 복합화 공법의 하나로 개발된 단부 RC조, 중앙부 철골조로 이루어진 혼합구조보(RS보)는 RC조의 경제성과 철골조의 경량화 및 장경간 확보라는 장점을 적절히 활용하면서, PC화로 인한 공기단축, 구조물의 고품질화, 인력절감 등의 효과를 기대할 수 있다. 현재 국내에서도 이러한 혼합구조보에 대한 연구는 몇몇 실험<sup>3)~5)</sup>과 이론적인 연구<sup>6)~8)</sup>를 기반으로 적용의 초기단계에 있으나, 적절한 해석방법과 성능 평가에 대한 연구는 현저히 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 혼합구조보로 이루어진 건물의 해석 모형을 개발하기 위하여 기존의 이력모형에서 표현하지 못하는 초기강성에 대한 새로운 계수를 도입·적용하여 혼합구조보 부재의 이력특성을 평가하고, 추후 혼합구조보로 이루어진 구조물의 내진 해석에 기초자료로 삼고자 한다.

## 2. 연구배경 및 방법

일반적으로 구조해석 모형은 재료의 구성방정식(constitutive equations)을 사용하는 미시적 모형(microscopic model)과 전체적인 거동을 예측하기 위한 거시적 모형(macroscopic model)로 구분될 수 있다. 미시적 모형은 부분적인 응력과 변형의 상태를 파악하는 경우에 효과적이고, 거시적 모형은 간단한 이상화에 의해 전체적인 거동의 특성을 평가할 수 있다. 본 연구에서는 거시적 모형을 통하여 구조체 전체적인 거동 특성을 연구하기 위하여 근사해석법을 이용하였다.

그림 1은 본 연구의 대상인 단부 철근콘크리트조, 중앙부 철골조로 이루어진 혼합구조보의 형태를 보여준다. 형태의 특성상 강재매입구간에서 콘크리트와 철골의 분리에 의해 초기강성의 차이가 발생하게 된다. 왜냐하면, 하나의 보가 서로 다른 재료 특성을 가지는 3부분으로 구성되므로, 일반 RC구조나 복합구조보다 초기강성 감소 현상이 심하게 나타날 수 있다. 그러므로 보 부재에서 손실되는 초기강성에 대한 계수를 새로

이 도입하여 초기강성 감소 현상을 직접 표현할 수 있도록 하는 방법이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 다각형모형(PM)과 혼합모형(HM) 등 2가지 방법에 의해 해석을 진행하였는데, 여기서 다각형모형은 IDARC2D<sup>9)</sup>에서 제안하는 철근콘크리트 해석 모형으로 항복 후 강성저하, 강도저하, 펀칭 등 3가지 이력모형을 이용하는 일반적인 방법이고, 혼합모형은 다각형 모형에 초기강성 계수를 추가하여 4가지 이력모형을 사용하도록 수정·제안된 방법이다.

그림 2에서 보는 바와 같이 일반적인 철근콘크리트 구조물에 대하여서는 보 및 기둥의 강성을 해석의 편의상 여러 가지의 이상화된 거동으로 가정하여 사용한다. 그리고 표 1은 선형해석에서 사용할 수 있도록 권장되는 초기강성 값을 나타내고 있다. 그러나 이러한 과정에서 발생하는 오차는 구조물에 적용되었을 때 더 큰 차이를 보일 수 있다.

혼합구조보 부재의 정확한 해석모형을 제시하기 위하여, 먼저 김육중 등<sup>3)</sup>이 수행한 강제 매입구간 실험



그림 1 혼합구조보 형태

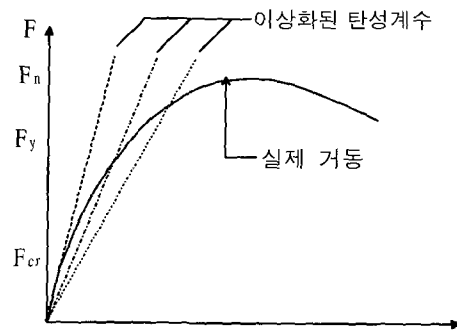


그림 2 구조물의 초기강성

표 1 기존 제안된 초기강성 계수

규 준	제 안 계 수	비 고
ACI318-95 <sup>10)</sup>	보 : 0.35, 기둥 : 0.7	$I_g$ 에 대한 값
FEMA273 <sup>11)</sup>	보 : 0.5, 기둥 : 0.7	$I_g$ 에 대한 값
NZS 1995 <sup>12)</sup>	보 : 0.4, 기둥 : 0.4~0.8	$I_g$ 에 대한 값
Dierlein 등 <sup>13)</sup> 2001	보 : 0.4, 기둥 : 0.9	$I_{tr}$ 에 대한 값

단,  $I_g$  : 전단면 2차 모멘트,  $I_{tr}$  : 환산단면 2차 모멘트

에 대하여 다각형 모형으로 해석을 수행하여 초기강성을 평가하였다. 그리고 초기강성 감소 모형을 개발·적용한 혼합모형으로 해석을 다시 수행하여 실험결과와 비교·평가하면서 혼합모형을 완성하였다. 완성된 혼합모형을 박찬석 등<sup>4)</sup>, 川端—三 등<sup>5)</sup>의 실험에 대하여 적용하여 평가자료로 삼았다. 이를 통해 이력모형을 정립하고, 초기강성 계수를 포함한 적절한 이력계수들을 제시하여 혼합구조보의 이력거동을 평가할 수 있도록 하였다.

### 3. 해석 모형

#### 3.1 재료 모형

IDARC2D에서 사용되고 있는 콘크리트 모형은 Kent와 Park에 의해 제안된 모형으로 그림 3(a)와 같은 응력-변형을 관계를 설정하고 있다. 철근 및 철골은 그림 3(b)에서 보는 것과 같이 변형경화 구간에서 응력-변형을 관계가 선형으로 가정된 모형을 사용한다.

#### 3.2 이력거동 모형

실험에서 관찰된 혼합구조보의 이력거동 특성은 주로 그림 1의 세 부분 중 RC보 및 강재매입구간 거동의 영향을 받는다. 이로 인해 혼합구조보의 이력거동에 RC구조물의 이력 거동 특성인 강성저하, 강도저하, 편칭현상 등이 나타났다. 또한 강재매입구간에서 철골의 미끄러짐 현상으로 인하여 초기 탄성 단계에서부터 단면이 가지는 강성을 충분히 발휘하지 못하고 전체 강성

이 저하되고 변위가 증가되는 현상을 보였다.

이러한 혼합구조보의 이력 거동은 다음에 설명되는 4가지 현상으로 설명될 수 있으며 이를 표현할 수 있는 계수가 각각 이용되었다.

- ① 부재의 초기 강성 감소(그림 4) : 이 모형은 혼합구조보 해석을 위해 본 연구에서 새로이 적용된 모형으로, 콘크리트와 철골의 미끄러짐에 의해 전체 부재의 초기 휨강성이 감소되는 현상으로 감소된 초기 강성은 식(1)에 따른다.

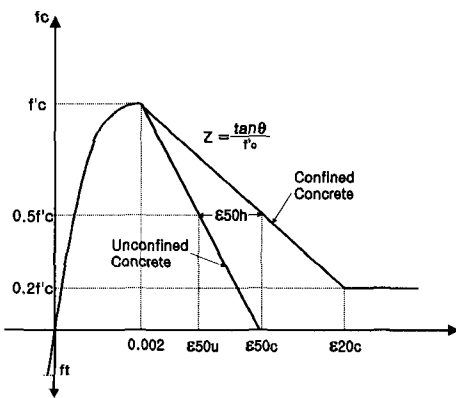
$$k_e = \phi k \tag{1}$$

여기서,  $\phi$ 는 혼합구조보에서 철골의 미끄러짐으로 인한 초기 강성의 감소를 나타내는 계수이고,  $k$ 는 원래의 초기강성,  $k_e$ 는 감소된 강성을 나타낸다.

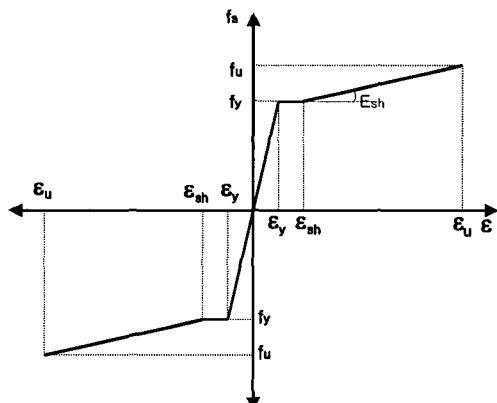
- ② 항복 후 강성 저하(그림 5) : 탄성범위를 벗어난 재료의 균열이나 소성변형 등에 발생하는 항복 후 강성저하 현상은 모든 제하(unloading)강성이  $\alpha M_y$ 를 향하도록 하며, 이때의 강성  $k^*$ 는 식(2)과 같다.

$$k^* = \frac{(M_{max} - \alpha M_y)}{(\phi_{max} - \alpha M_y/k)} \tag{2}$$

여기서  $M_{max}$ 와  $\phi_{max}$ 는 각각 제하사이클(unloading cycle) 시작점에서의 모멘트와 곡률값이고,  $\alpha$ 는 강성저하의 양을 결정하는 계수이다. 또한  $M_y$ 는 항복모멘트,  $k$ 는 단면의 초기강성이다.



(a) 콘크리트 모형



(b) 철근 및 철골 모형

그림 3 재료모형

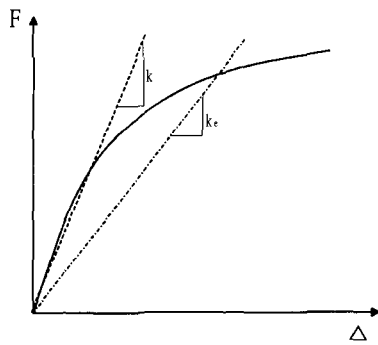


그림 4 초기강성 감소 모형

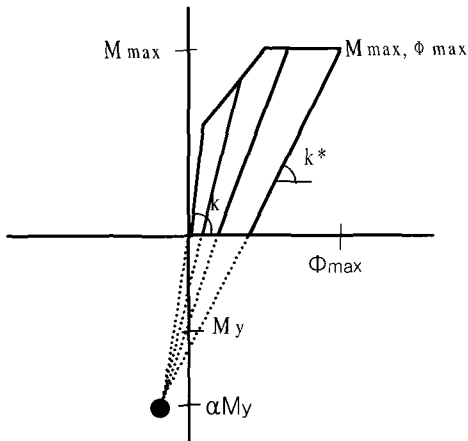


그림 5 항복 후 강성 저하 모형

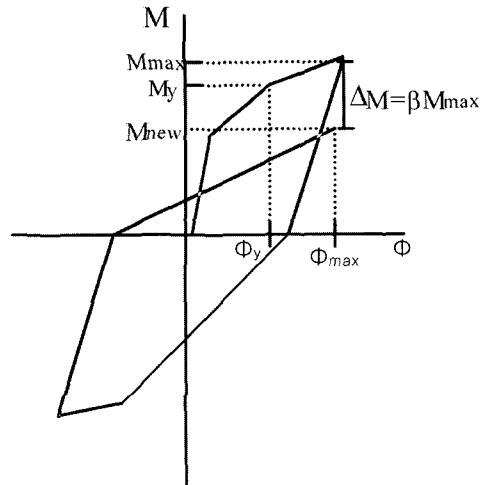


그림 6 강도저하 모형

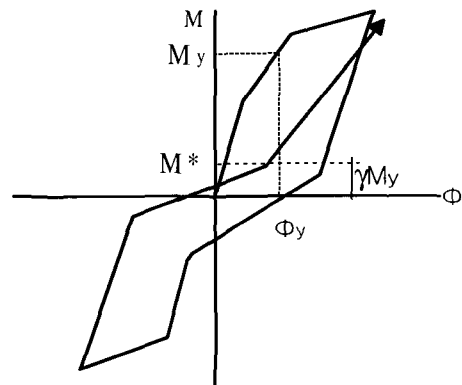


그림 7 핀칭 모형

- ③ 강도 저하(그림 6) : 최대강도 또는 극한강도에 도달한 이후, 또는 부재의 손상으로 인해 발생하는 강도저하 현상은 최대 모멘트  $M_{max}$  이후의 재재하(reloading) 시  $M_{max}$  대신 새로운  $M_{new}$ 로 향하게 하여 표현하며,  $\beta$ 는 식(3)과 같다.

$$\beta = \left( \frac{d\Phi_{max}}{\Phi_u} \right) \div \frac{dE}{\Phi_u M_y} = \frac{d\Phi_{max} M_y}{dE} \quad (3)$$

여기서  $dE$ 는 표준화된 증가 이력에너지이고,  $\Phi_{max}$ 는 최대 곡률,  $M_y$ 는 부재의 항복모멘트,  $\beta$ 는 이력 에너지의 감소율을 나타내는 계수이다.

- ④ 핀칭 거동(그림 7) : 콘크리트의 균열이 열리고 닫히는 현상 및 철근의 재결속 등으로 생기는 핀칭 현상은 제하(unloading) 및 재재하(reloading)사이 클에서 식(4)에 따르는 새로운 목표점을 향하게 하여 표현한다.

$$M^* = \gamma M_y \quad (4)$$

여기서  $\gamma$ 는 항복모멘트  $M_y$ 의 함수로 표현되는 핀칭의 정도를 표현하는 조절계수이다.

### 3.3 혼합구조보 모형

본 연구에서는 구조물 전체의 특성을 파악하기 위해 거시적 모형을 이용하면서, 부재의 특성상 하나의 보가 서로 다른 재료적 특성을 갖는 3부분으로 구분될 수 있으므로 좀더 정확한 해석을 위해 그림 8과 같이 각각 RC, 강재매입(RC+S), 철골의 특성을 가지는 3개의 보요소를 사용하였다.

이력거동모형의 4가지 계수에 대한 최종적인 선택은

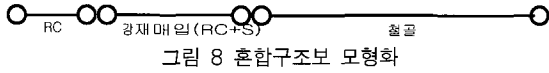


그림 8 혼합구조보 모형화

사이클당 예상되는 강도, 강성 및 에너지 소산량과 실험에서 얻어진 값 사이의 오차를 최소화할 수 있도록 하였다.

#### 4. 대상 실험 개요

본 연구에 사용된 연구대상 모형은 국내 P건물을 대상으로 구조해석을 실시하여 응력이 가장 많이 발생하는 지점을 선정 후, 1/2축척으로 제작된 실험체이다. 실험체는 강재매입구간의 거동을 알아보기 위해 설계되었으며, RC부분의 인장철근량과 철골의 크기가 변수로 선정되었다. 가력 방법은 부재각(R)에 따라 1/300부터 1/15까지 단계별로 2사이클씩 반복가력하였다. 혼합구조보의 형상은 위의 그림 1과 같고, 실험체 일람 및 실험결과, 재료실험 결과 그리고 하중가력방법 등은 표 2, 표 3 및 그림 9에 나타내었다.

표 2 실험체 일람 및 실험결과

실험체명	인장철근량 (mm <sup>2</sup> )	단면 폭 (mm)	단면 길이 (mm)	철골 (H형강) (mm)	최대 강도 (tf)	파괴 모드
A1	3,370	330	580	350X175 X7X11	13.2	전단 (RC+S)
B1	2,122	330	580	350X175 X7X11	11.5	휨+전단 (RC+S)
B2	1,548	330	580	350X175 X7X11	9.4	휨 (RC+S)
B3	3,370	330	580	346X174 X6X9	12.3	휨 (STEEL)

표 3(a) 콘크리트 재료실험 결과

콘크리트	설계강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	실험시강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	400	440	3.16X10 <sup>5</sup>

표 3(b) 철근 및 철골 재료실험 결과

종류	항복강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )	변형 경화율(%)	
				0.2%	0.2%
철근	D19	4,445	6,523	1.81X10 <sup>6</sup>	0.2
	D22	4,085	6,206	2.09X10 <sup>6</sup>	0.2
철골	11mm	3,297	4,845	1.93X10 <sup>5</sup>	0.2
	7mm	3,712	5,082	2.01X10 <sup>6</sup>	0.2
	9mm	3,613	5,058	1.81X10 <sup>6</sup>	0.2
	6mm	4,077	5,138	2.21X10 <sup>6</sup>	0.2

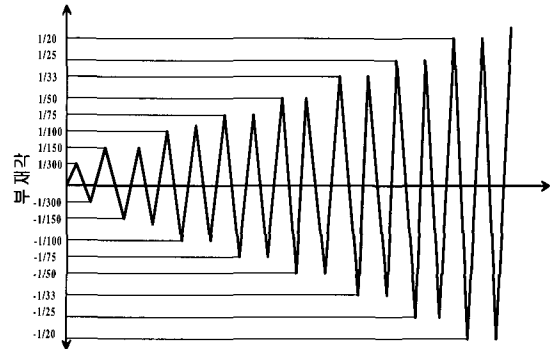


그림 9 하중가력방법

#### 5. 혼합구조보의 Quasi-static 해석

##### 5.1 초기강성평가 및 계수제안

그림 10은 전단파괴형 실험체로서 초기강성 차이가 가장 심한 A1 실험체를 대상으로, 다각형모형과 혼합모형을 비교하여 나타낸 하중-부재각 곡선이다.

표 4는 각 실험체의 초기강성값을 하중/부재각으로 계산한 것으로, 다각형 모형에서는 1.13~1.72배까지 과대평가되는 반면 혼합 모형에서는 5% 이내로 오차가 감소한 것을 알 수 있다.

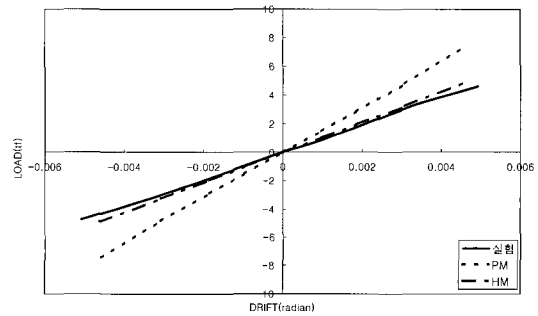


그림 10 A1 실험체의 초기강성 곡선

표 4 초기강성 비교

실험체명	초기강성 (tonf/radian)				
	실험	해석 (다각형 모형)	해석 (혼합 모형)	해석 (다각형모형) / 실험	해석 (혼합모형) / 실험
A1	932	1606	968	1.72	1.04
B1	862	1115	893	1.29	1.04
B2	890	1006	891	1.13	1.01
B3	880	1010	862	1.15	0.98

다각형 모형에서 과대평가되는 초기강성은 본 연구에서 제시하는 초기강성 계수  $\psi$ 에 의해 조절될 수 있다. 초기강성 계수는 본 연구의 대상 실험<sup>3)</sup>에서 측정된 강재 매입구간에서의 LVDT값을 기준으로 산정되었다. 그림 11은 B1 실험체에서 측정된 LVDT값을 나타낸 그래프로서 거의 직선에 가까운 선형분포를 보이고 있다. 즉, 철골의 미끄러짐량은 초기 탄성범위 내에서 부재각의 증가에 따라 계속 증가되는 양상을 보이며, 그 기울기(slip/load)는 전단파괴형에서 휨파괴형으로 갈수록 작아지는 경향을 보인다. 이를 근거로 해석의 반복 실험 결과 최종 사용된 초기강성 계수  $\psi$ 는 표 5와 같다.

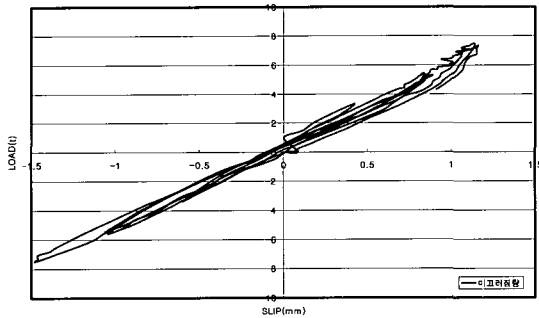


그림 11 철골의 미끄러짐값

표 5 미끄러짐과  $\psi$

실험체명	미끄러짐량 (mm/tonf)	$\psi$	파괴모드
A1	0.24	0.65	전단파괴(RC+S)
B1	0.23	0.71	휨+전단파괴(RC+S)
B2	0.18	0.80	휨파괴(RC+S)
B3	0.16	0.86	휨파괴(STEEL)

김옥중 등<sup>3)</sup>에서 행해진 실험에 근거하여 사용된 초기강성 감소계수  $\psi$ 를 박천석 등,<sup>4)</sup> 端一三 등<sup>5)</sup>의 실험체에 적용, 분석한 결과 그림 12과 같은 관계를 찾을 수 있었다.

따라서 혼합구조보에서  $\psi$ 값은 파괴모드에 따라 전단파괴의 경우는 0.6~0.7, RC부분 휨파괴의 경우는 0.7~0.8, 철골 휨파괴의 경우는 0.8~0.9의 값을 사용하였다.

### 5.2 하중변위관계

전체적으로 실험값과 가장 근접한 결과를 보이는 해석값에 대한 계수를 시행착오를 거쳐 구하였으며, 그림 13

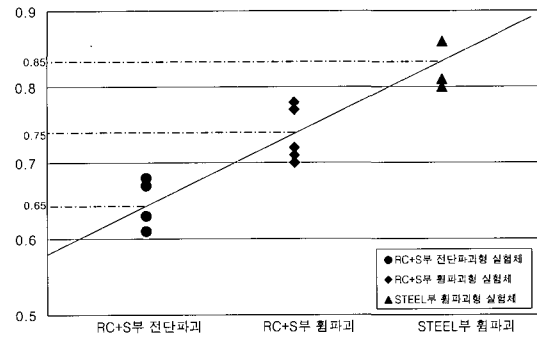


그림 12 초기강성계수

은 대상 실험체의 실험결과와 혼합모형으로 해석한 결과를 비교·표현한 하중-변위 곡선이고, 그림 14는 해석상 나타나는 파괴모드를 보여준다.

A1은 전단파괴형 실험체로서 강재매입부분에서 최종파괴가 일어나며, 초기강성 및 강도에 대한 해석 오차가 상대적으로 다른 실험체에 비해 크게 나타나는데, 이는 본 해석에서 전단파괴에 대한 여러 가지 변수를 다 표현할 수 없기 때문이라 판단된다. B1 및 B2는 초기에 휨과 전단 변형이 동시에 진행된다. 이후 B1은 RC부분에서, B2는 철골부분에서 최종파괴가 일어났다. B3은 철골부분의 완전한 휨파괴 모드를 보였다.

### 5.3 항복 후 강성

강성저하계수  $\alpha$ 는 항복 이후 저하되는 강성의 정도를 나타낸다. 일반적으로 심한 저하 현상이 나타날 때 0.1, 강성저하 현상이 거의 보이지 않을 경우 10.0을 적용한다. A1, B1 및 B2는 콘크리트에 의한 강성저하가 지배적이므로, RC부분의 강성저하계수를 1.0~2.0을 사용하고, 철골보에 대해서는 4.0을 사용하여 표현하였다. B3는 콘크리트보다 철골에 의한 강성저하 현상이 지배적이므로 콘크리트 부분을 5.0, 철골부분은 1.0의 계수를 사용하였다.

### 5.4 강도

강도저하계수  $\beta$ 는 0.0(강도저하 무시)~0.4(심한 강도 저하)의 범위를 갖는다. 전단파괴형 실험체인 A1은 항복이후 콘크리트의 균열로 인한 강도 저하 현상이 나타나므로, RC부분은 0.2, 철골보는 0.01의 값을 사용하였다. 또한 B1 및 B2는 최대강도에 도달할 때까지 강도저하 현상이 거의 일어나지 않으며, B3는 철골의

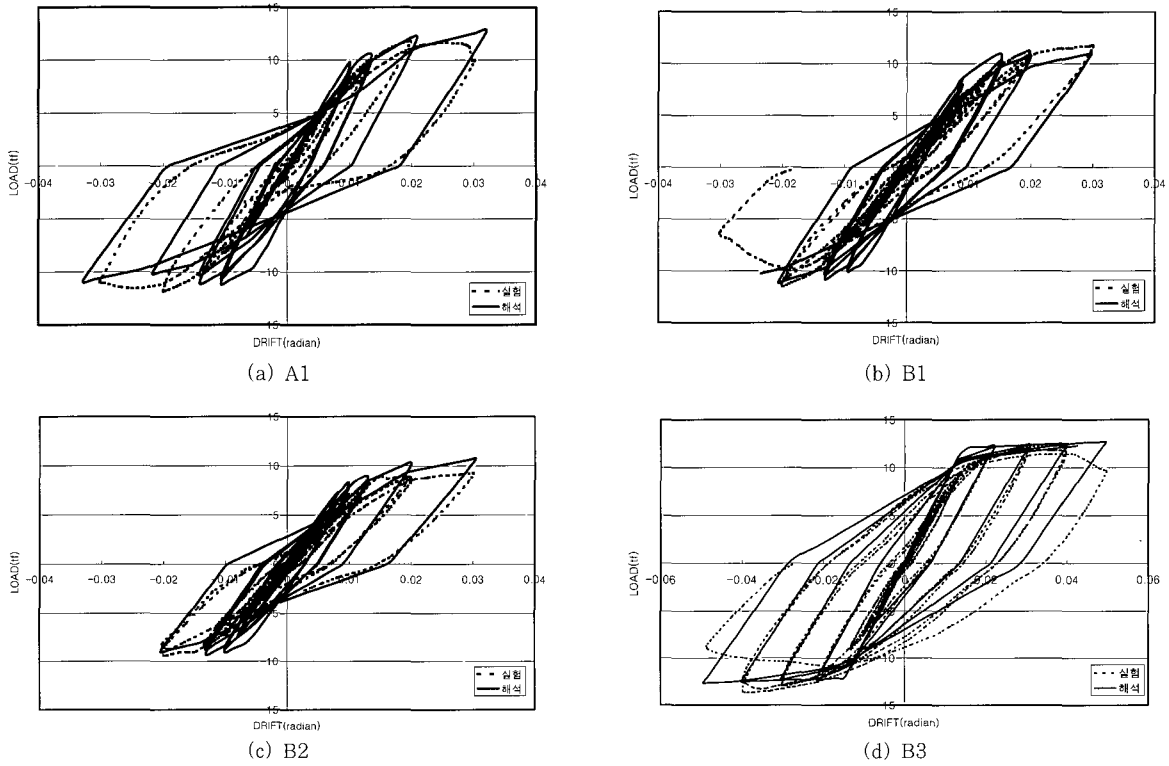


그림 13 실험체의 하중-변위곡선(실험 vs HM)

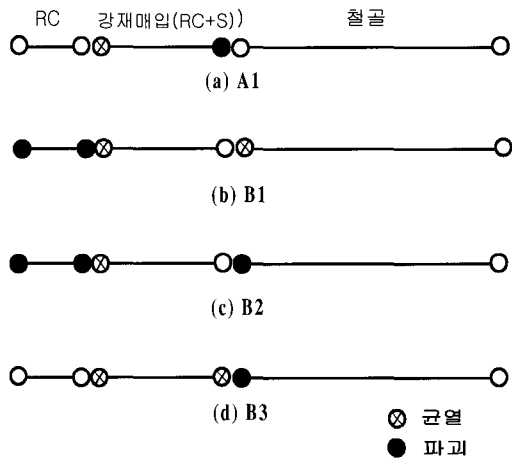


그림 14 파괴모드

항복이후 철골과 콘크리트 모두에 의해 강도저하 현상이 일어나므로, RC부분은 0.2, 철골보는 0.1의 계수를 사용하였다.

표 6은 각 실험체의 항복강도를 정리한 것이다. 본

표 6 강도 비교

실험체명	항복강도			최대강도		
	실험 (tonf)	해석 (tonf)	해석/실험	실험 (tonf)	해석 (tonf)	해석/실험
A1	10.4	9.82	0.94	13.2	12.7	0.96
B1	10.0	9.05	0.91	11.5	12.1	1.05
B2	8.45	8.38	0.99	9.4	9.2	0.98
B3	10.2	11.1	1.09	12.3	12.7	1.03

해석에서 항복강도는 부재 단면으로부터 섬유모형(fiber model)으로 계산된 모멘트 값이 항복모멘트에 도달했을 때의 강도를 의미하며, 계산된 항복강도는 실험값과의 오차가 10% 이내인 매우 우수한 예측을 보인다.

또한 본 연구에서 최대내력은 3개의 연결된 부분 중 하나의 부재가 파괴에 도달하면 전체 부재가 파괴되었다고 간주하여, 그 시점의 하중을 최대내력으로 하였다. 해석결과와 실험결과를 비교해보면 ±5%내에서 거의 정확히 일치함을 알 수 있다.

### 5.5 편칭

편칭계수  $\gamma$ 는 심한 편칭일 경우 0.1을, 편칭현상이 일어나지 않을 경우 1.0을 사용하게 된다. 콘크리트 전단파괴형 실험체인 A1은 콘크리트 균열 이후 심한 편칭 현상을 보이므로 RC부분에 대해 0.1, 철골보에 대해 0.7을 사용하였다. 휨항복형 실험체인 B1 및 B2는 RC부분에 대해 보통의 편칭정도를 표현하는 0.5를 사용하였다. 또한 철골 휨항복형 실험체인 B3는 편칭 현상이 일어나지 않으므로 1.0을 사용하여 적절히 표현되었다.

### 5.6 이력거동계수

본 해석은 4개의 계수로 이력거동이 직접 조절되는 혼합모형으로서, 본 실험체에 대해 사용된 계수를 정리하면 표 7과 같다.

본 해석에 적용된 실험체는 파괴모드별 거동을 알아보기 위해 계획되었으며, 실제 현장에서 적용되는 상세는 B1이나 B2에 가깝다. 실험 결과 휨파괴가 예상되는 B2 상세를 적용할 것을 권장하며, 추후 혼합구조보로 이루어진 구조물 해석시에도 B2의 상세를 이용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

표 7 이력거동계수

실험체명	재료	계수				$\psi$
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\psi$	
A1	RC부분	2.0	0.2	0.1	0.65	
	철골보	4.0	0.01	0.7		
B1	RC부분	1.0	0.0	0.5	0.71	
	철골보	4.0	0.01	0.7		
B2	RC부분	1.0	0.0	0.5	0.80	
	철골보	4.0	0.01	0.7		
B3	RC부분	5.0	0.5, 0.2	1.0	0.86	
	철골보	1.0	0.1	1.0		

### 6. 결 론

- ① 강성저하 계수  $\alpha$ 는 RC부분에 대해 1.0~2.0, 철골보에 대해서는 4.0~5.0으로 나타났다.
- ② 항복강도 및 최대강도는 10% 범위 내에서 우수한 예측을 하며, 강도저하 계수  $\beta$ 는 RC부분에

대해 0.1~0.2, 철골보에 대해 0.01로 나타나 철골부분에서의 강도저하 현상은 거의 무시할 정도의 수준이다.

- ③ 편칭 현상이 거의 일어나지 않는 철골 선행 항복형의 경우 편칭 계수  $\gamma$ 는 1.0을, 콘크리트 전단 파괴형의 경우 0.1을 적용하며, 철골 항복형 실험체가 연성능력이 매우 우수하다.
- ④ 초기강성 감소 모형을 반영한 혼합모형은 초기강성 계수  $\psi$ 을 사용하여 철골 미끄러짐으로 인한 초기강성 감소를 적절히 고려할 수 있으며, 파괴 모드별로 강제매입구간 전단파괴는 0.65, 강제매입구간 휨파괴는 0.75, 철골보 휨파괴는 0.85로 하는 것이 적절하다.
- ⑤ 본 연구는 단부 철근콘크리트조, 중앙부 철골조로 이루어진 혼합구조보의 해석 모형화를 위해 진행한 연구로서 향후 이 혼합구조보를 적용한 구조물의 거동을 예측하는데 유용할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구를 지원한 한양대학교 초대형 구조 시스템 연구센터와 삼성물산(주)에 깊이 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. G. S. Cheock, W. C. Stone, and S. K. Kunnath, "Seismic Response of Precast Concrete Frames with Hybrid Connections", *ACI Structural Journal*, 1998, pp.527~539
2. Magdy T. El-Sheikh, Richard Sauce, Stephen Pessiki, and Le-Wu Lu, "Seismic Behavior and Design of Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Frames", *PCI Journal*, 1999, pp.54~71
3. 김옥중, 최종권, 문정호, 이리형, 이동렬, "단부 RC조와 중앙부 철골조로 이루어진 혼합구조보의 전단 내력에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 1998, pp.457~462.
4. 박천석, 이화진, 윤성기, 박성수, "철근콘크리트 기둥과 철골보로 구성된 복합구조의 접합부 전단내력에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집 12권 제11호, 통권 97호, 1996, pp.135~145



5. 川端一三, 成原弘之, 宮崎直志, “단부RC조, 중앙부 S조의 복합구조보 구조실험과 설계 · 시공”, 혼합구조의 역학적거동과 설계 · 시공에 관한 심포지움 논문집, 1992
6. 이은진, 김옥중, 문정호, 이리형, “철근콘크리트와 철골조로 이루어진 혼합구조보의 비선형 이력에 관한 연구”, 한국전산구조공학회 가을학술발표대회 논문집, 1999, pp.19~26
7. 박천석, 윤성기, “복합구조 접합부의 극한전단강도 평가에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 13권, 제 12호 통권 110호 1997, pp.335~342
8. 박천석, 이상호, 윤성기, “비선형 유한요소해석에 의한 복합구조 접합부의 전단강도에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제13권, 제11호, 통권 109호, 1997, pp.399~410
9. R. E. Valles, A. M. Reinhorn, S. K. Kunnath, C. Li, and A. Madan, “IDARC2D : A Computer Program for the Inelastic Damage Analysis of Buildings”, Technical Report NCEER-96-0010, 1996.
10. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-95) and Commentary(318R-95)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1995, pp.369
11. FEMA273, “NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, 1997
12. NZS 3101 - New Zealand Standard, “Concrete Structures Standard : Part 2 - Conmentary on the Design of Concrete Structures”, New Zealand, 1995
13. Sameh S. F. Mehanny, Hiroshi Kuramoto, and Gregory G. Deierlein, “Stiffness Modeling of Reinforced Concrete Beam-Columns for Frame Analysis”, *ACI Structural Journal*, 2001, pp.215~225