

# RC 보-기둥 접합부의 해석 모델링과 거동

## Analytical modelling and behavior of RC beam-column joints

우 성우\*                      이 한선\*\*  
Woo, Sung-Woo              Lee, Han-Seon

---

### ABSTRACT

In this study, the experimental results were simulated by using a nonlinear analysis programs IDARC 2D and RUAUMOKO 2D. These programs use a global Takeda-like model. The objectives of this study is to verify the correlation between the experimental and analytical responses of reinforced concrete (RC) frame and to provide the calibration to the available static inelastic analysis techniques.

The evaluation of the accuracy of analytical simulation by IDARC 2D and RUAUMOKO 2D leads to the conclusion that the global behaviors can be, in general, simulated with limited accuracy in the linear analysis as detailing.

---

#### 1. 서론

본 연구의 목적은 국내에서 일반적으로 설계 및 시공되고 있는 비내진 상세를 가진 10층 규모의 철근콘크리트 건축물의 내·외부 접합부에 대한 반복 횡가력 실험을 통해 나타난 실험의 결과에 대해, 비선형 해석프로그램인 IDARC 2D와 RUAUMOKO를 사용하여 얻어진 해석 결과를 비교, 검토함으로써 신뢰성을 확인하고 프로그램 적용에 있어서의 한계성을 살펴보았다.

#### 2. 해석모델

해석모델에 사용된 모델 콘크리트의 압축강도는 실험 당일 재료실험의 평균강도인  $282 \text{ kg/cm}^2$  이고, 모델 철근의 강도는 주근 D3, 횡보강근 D2의 경우 각각  $3786 \text{ kg/cm}^2$ ,  $4534 \text{ kg/cm}^2$  이다.

콘크리트와 철근의 재료특성은 모델 재료실험 결과 나타난 응력과 변형률의 관계의 그래프에서 필요한 값들을 직접 구해서 사용했으며, 그때의 탄성계수는 각각  $E_c = 251892 \text{ kg/cm}^2$ ,  $E_s = 2100000 \text{ kg/cm}^2$  이다. 모델의 종류와 부재의 단면 및 정착 등에 관한 상세는 참고문헌 (1)에 잘 나타나 있다.

#### 2.1 IDARC 2D

IDARC 2D에서 단면 성능은 단면을 여러 개의 얇은 층으로 잘라서 그 층의 콘크리트 또는 철근의 역학적 특성을 합산하여 모멘트-곡률 관계를 계산하는 방법을 사용한다. 또한 보에서 슬래브의 효과

---

\* 정회원, 고려대학교 건축공학과 박사과정

\*\* 정회원, 고려대학교 건축공학과 교수

를 계산하기 위해서는 T형보로 산정하여 같은 방법으로 계산한다. 이와 같은 방법으로 기둥 단면과 보 단면의 특성을 균열 모멘트, 항복 모멘트, 극한 모멘트로 구분하고 각 구간은 선형으로 가정하여 그림 1과 같은 삼선형 (Trilinear) 모멘트-곡률 관계 모델로 나타낸다. 구조물이 지진과 같은 반복 횡하중을 받을 경우 반응은 이력곡선 형태로 나타나는데, 이러한 이력곡선의 특성을 나타내기 위해 부재 단면의 모멘트-곡률 관계로부터 강성감소 현상 (HC,  $\alpha$ )과 강도감소 현상 (HBD, HBE,  $\beta$ ), 그리고 펀칭 현상 (HS,  $\gamma$ )등의 영향을 고려하여 이력거동 모델을 결정하게 된다. IDARC 2D 모델에서의 기본 설정 값은 강성감소 계수  $\alpha(HC) = 2.0$ , 연성도 측면의 강도감소 계수  $\beta(HBD) = 0.0$ , 에너지 측면에서의 강도감소 계수  $\beta(HBE) = 0.1$ , 펀칭 현상 계수  $\gamma(HS) = 0.5$ 이다.

Aycardi, Mander, 그리고 Reinhorn<sup>(2)</sup>은 부재에 대한 실험결과를 기초로 하여,  $\alpha = 0.5$ ,  $\beta = 0.04$ , 그리고  $\gamma = 0.7$ 를 사용하였고, 강성 감소는 축소율이 1/4보다 아래인 경우 원형 구조물보다 모델에서 더 크게 일어나며, 보통 0.5~1.0의 값이 사용된다. 또, Hoffmann 등<sup>(3)</sup>은 철근콘크리트 구조물의 상세를 그림 2와 같이 분류하여 각 상세의 특성에 따른 이력거동 모델 계수를 표 1과 같이 정리하였다. 본 연구에서는 이력거동 모델 변수를 계속 변화시켜 가장 유사한 결과를 얻어낼 수 있는 값을 사용하였고 최종 사용된 값은 표 1과 같다.

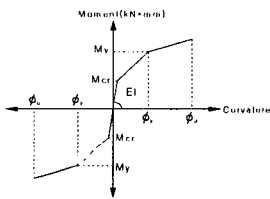


그림 1 삼선형 포락선

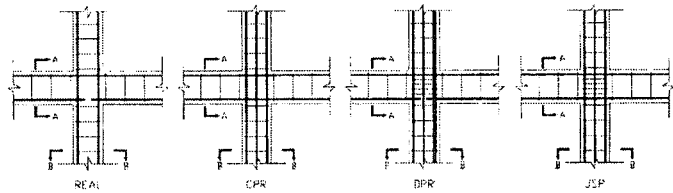


그림 2 이력거동 모델을 위한 상세

표 1 이력거동 모델 변수 (IDARC 2D)

이력거동 모델 변수	Hoffmann 등의 실험				본 연구					
	REAL	CPR	DPR	JSP	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
$\alpha$	1.5	1.5	2.0	3.0	9.0	9.0	9.0	9.0	5.0	9.0
$\beta$	0.15	0.15	0.10	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$\gamma$	0.3	0.5	0.5	1.0	0.8	0.8	0.3	0.3	0.3	0.5

## 2.2 RUAUMOKO

보 요소와 보-기둥 요소를 포함한 골조 해석모델은 4-절점 정의에 의해 나타낼 수 있다. 이 모델은 부재의 중심선이 만나는 점을 절점으로 하고 각 부재 단부에 이 절점과 일정한 거리만큼 강접 부위 (Rigid end block)을 둘 수 있으며, 양단부 강접 부위 사이에 소성힌지와 탄성 보 (혹은 기둥)를 둔다. 보와 보-기둥 부재의 비선형 거동은 탄성 보의 양단부에서 소성힌지를 가지는 기버슨 일부재 모델 (Giberson one-component model)의 개념을 따른다. 그림 2에서 보는 바와 같이 기버슨 일부재 모델은 집중 소성힌지 모델이라고도 불리며, 부재의 모든 비선형 변형이 부재 단부에 집중되고 그 가운데 부분은 탄성을 유지한다고 가정된다. 소성힌지에서의 강성을 계산하기 위해서는 그림 3과 같은 기버슨 힌지 모델이 사용된다.

본 논문에서 골조 해석모델의 보 요소와 보-기둥 요소에 대해 사용된 비선형 부재의 거동에 대한 이력 특성은 그림 4에 나타난 수정된 Takeda 이력을 사용하였으며, 사용된 변수는 표 2와 같다. 강도 감소를 위해 그림 5와 같은 강도 감소 변동을 사용하였으며, 적용한 변수는 표 2에 나타나 있다.

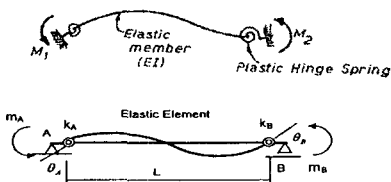


그림 2 기버슨 일부재 모델

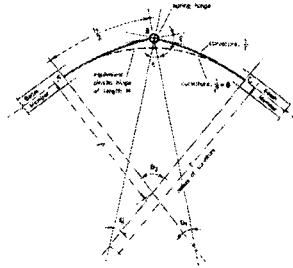


그림 3 기버슨 한지 모델

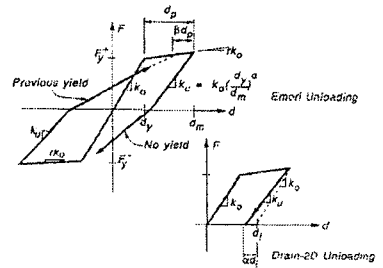


그림 4 수정된 Takeda 이력

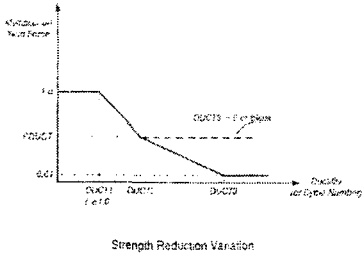


그림 5 강도 감소 계수

표 2 이력거동 모델 변수 (RUAUMOKO)

이력거동 모델 변수	Model			
	1	2	3	4
Unloading stiffness ( $\alpha$ )	0.35	0.35	0.35	0.35
Reloading stiffness ( $\beta$ )	0.1	0.1	0.1	0.1
Degradation ductility (시작)	2.0	5.0	2.0	5.0
Degradation ductility (끝)	25.0	21.0	25.0	21.0

### 3. 해석과 실험의 상관성

#### 3.1 IDARC 2D에 의한 전체 응답의 비교

그림 6에서는 최상부에서의 변위와 하중 관계를 비교해서 나타내고 있다. 그림 6(a)~(d)의 내부접합부의 경우 (Model 1, 2, 3, 4) 실험결과와 해석결과가 아주 유사하게 나타나고 있으나, 그림 6(e)~(f)의 외부접합부의 경우 (Model 5, 6) 다소 차이를 보여주고 있다. 표 1에서 보듯이 Hoffmann 등이 해석한 결과와는 달리 내부접합부의 경우 내진 상세 (Model 2, 4)와 비내진 상세 (Model 1, 3)에 따른 이력거동 모델 변수의 차이가 없었으나, 외부접합부의 경우 내부접합부와는 달리 상세의 차이에 따라 이력거동 모델 변수에서 어느 정도 다른 값을 나타내었다.

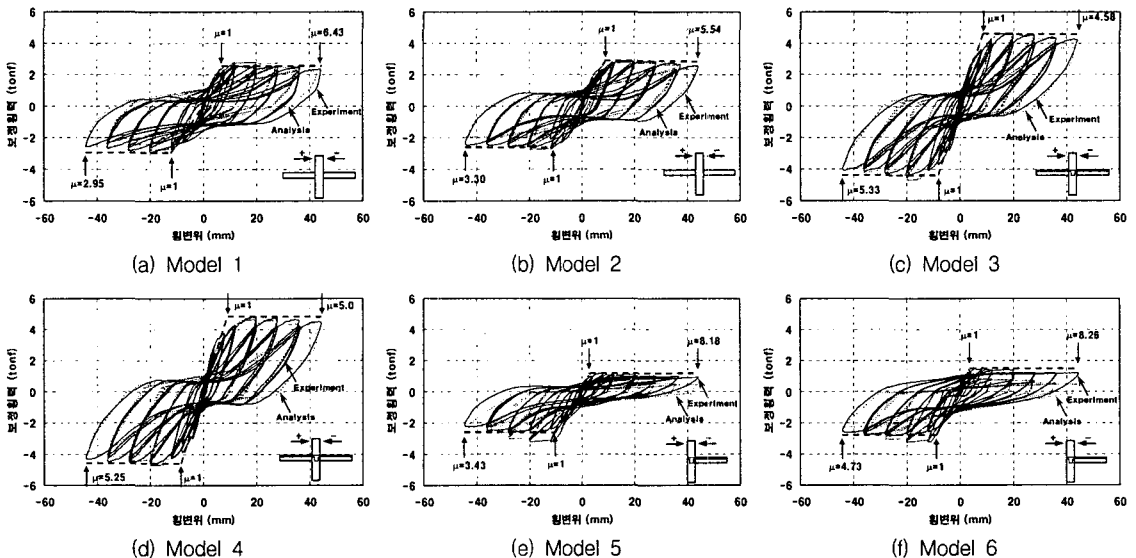


그림 6 최상부 변위-하중 관계 (IDARC 2D)

### 3.2 RUAUMOKO 2D에 의한 전체 응답의 비교

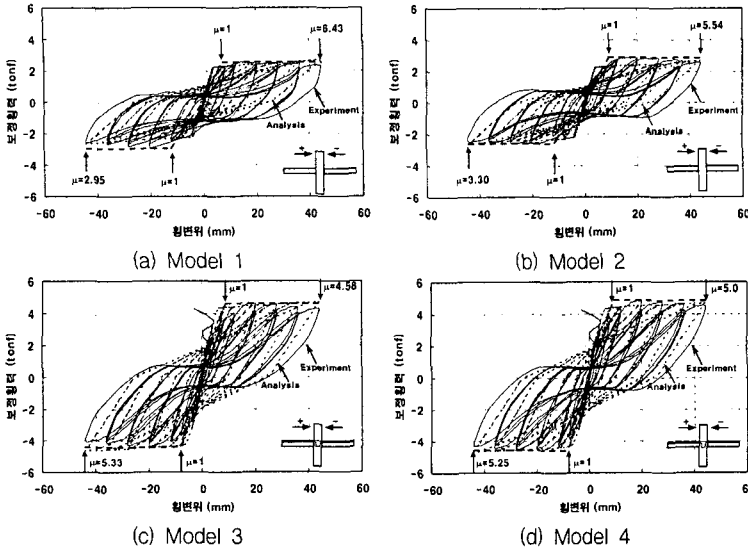


그림 7 최상부 변위-횡하중 관계 (RUAUMOKO 2D)

그림 7에서는 내부접합부에 대한 RUAUMOKO 2D에 의한 해석결과와 실험결과를 비교하고 있다. 전체적인 거동은 어느 정도 유사하나 강도감소 현상을 적절하게 묘사하고 있지 못하며 에너지 소산량이 실험에 비해 해석에서 크게 나타나고 있어 IDARC 2D에 비해 상대적으로 낮은 신뢰성을 보여주고 있다.

### 4. 요약

IDARC 2D와 RUAUMOKO 2D 프로그램을 이용한 RC 보-기둥 접합부의 비선형 거동 모사에 대한 연구결과를 요약하

면 다음과 같다.

- (1) IDARC 2D에 의한 해석결과는 전체 거동에서 실험결과와 아주 유사하게 나타나 그 신뢰성이 상당히 높음을 알 수 있다.
- (2) IDARC 2D에 의한 해석결과 내부접합부의 경우 내진 상세와 비내진 상세의 차이에 따른 이력 거동 모델 변수의 차이가 없으나, 외부접합부의 경우 상세의 차이에 따른 이력거동 모델 변수가 다르게 나타났다. 이는 외부접합부의 경우 보 하부 주근의 정착방향 차이가 구조물 거동에 영향을 주며 이러한 영향을 해석모델에 반영할 필요가 있음을 보여주는 것이다.
- (3) RUAUMOKO 2D에 의한 해석결과는 강도감소 현상을 적절하게 묘사하고 있지 못하며, IDARC 2D에 비해 상대적으로 낮은 신뢰성을 보여주었다.

### 감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 이 한선, 우 성우 (2003). "비내진 상세를 가진 RC 보-기둥 접합부의 거동", 한국지진공학회 가을 학술발표 논문집 7(2), 133-140.
2. Aycardi L. E. etc (1994). "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designed Only for Gravity Loads: Experimental performance of subassembly." *ACI Structural Journal*, 91(5), 552-563.
3. Hoffmann, G., Reinhorn, A. M. etc (1995). "Gravity-Load-Designed Reinforced Concrete Building-Part II: Evaluation of Detailing Enhancements," *ACI Structural Journal*, 92(4), 470-478.