

# 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 연성능력

## Deformability of RC Beam-Column Assembles

이 정윤\*

Lee, Jung-Yoon

---

### ABSTRACT

This paper proposes a method to predict the ductility capacity of reinforced concrete beam-column joints failing in shear after the formations of plastic hinges at both ends of the adjacent beams. The current design code divides joints into two categories: Type 1 for structures in non seismically hazard area and Type 2 in seismically hazard area. While there are many researches related to joint shear strength in Type 1, those in regard to joint ductility capacity of Type 2 are scarce. This paper classified the ductility capacity of beam-column joints into column, joint panel, and beam deformability. Since a brittle failure such as shear or bond failure in the columns must be avoided, column deformability was calculated by elastic analysis. The plastic hinges of the adjacent beams affect joint deformability. Therefore, the prediction of joint deformability was calculated with consideration to the degradation of the diagonally compressed concrete due to the strain penetration.

### 요 약

이 연구에서는 지진하중을 받는 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 연성능력을 평가하였다. 철근콘크리트 보-기둥 접합부 설계는 보에 소성힌지가 발생하기 이전에 접합부가 파괴하는 경우와 보에 소성힌지가 발생한 이후에 접합부 또는 보가 파괴하는 경우로 구분하여 설계하고 있다. 지금까지의 대부분의 기존 연구는 접합부의 강도 평가에 중점을 두고 있으며, 접합부의 연성능력 평가에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이 연구에서는 접합부의 연성을 기둥, 보, 접합부 패널 부분으로 구분하여 각각의 부재가 보-기둥 접합부의 전체 연성에 미치는 영향을 평가하였다. 접합부 설계는 일반적으로 보에 소성힌지를 발생시키고 접합부를 포함한 기둥은 탄성 상태로 설계하므로 탄성해석에 의하여 기둥의 연성을 평가하였다. 접합부 패널은 보의 소성힌지의 변형에 의하여 영향을 받게 된다. 따라서 이 연구에서는 보의 소성힌지의 영향을 고려한 접합부 패널 연성을 평가하였다. 소성힌지가 발생한 보의 연성은 보-기둥 접합부의 연성능력에 가장 큰 영향을 미친다. 보의 연성은 보의 휨에 의한 영향, 철근의 뒤틀림에 의한 영향, 소성힌지 구역의 축방향 변형률 증대에 의한 영향으로 구분하였다. 또한 접합부의 부착강도 저감 및 보의 주철근 항복 이후의 철근의 뒤틀림 및 소성힌지 구역의 축방향 변형률 증대에 의한 영향을 고려하여 보의 연성능력을 평가하였다.

---

\* 정회원, 성균관대학교, 건축공학과, 부교수

## 1. 서 론

철근콘크리트 보-기둥 접합부의 연성평가는 철근콘크리트 내진설계에 있어서 중요하다. 보-기둥 접합부는 전단력과 부차력이 크게 작용하므로 콘크리트 압괴에 의한 전단파괴나 보방향 주철근의 부차파괴가 발생할 수 있다. 철근콘크리트 보-기둥 접합부 거동평가는 1970년 이후에 미국·일본·뉴질랜드의 3개국이 공동연구를 실행하였다. 이러한 결과를 반영하여 ACI 318-05설계기준<sup>1)</sup>에서는 비내진(Type 1) 및 내진설계(Type 2)로 구별된 접합부 설계법을 제안하였다.

철근콘크리트 부재의 내진설계에서는 소성힌지가 보의 양단부에 선행 발생하며 보-기둥 접합부 및 기둥은 보의 변형 능력이 설계변형 능력에 도달할 때까지 내력이 저감되지 않도록 설계하고 있다. 따라서 합리적인 보-기둥 접합부 설계를 위해서는 접합부의 연성능력을 평가할 필요가 있다. 미국, 일본 및 뉴질랜드의 전단평가식은 접합부 전단 메커니즘과 접합부 강도에 영향을 주는 기본 요소에 대하여 서로 엇갈린 견해를 보이고 있다. ACI 318-05기준과 일본 지침서<sup>2)</sup>에서는 접합부에 발생하는 콘크리트 아치 메커니즘을 기본으로 전단강도를 평가하고 있는 반면에 뉴질랜드 기준식에서는 콘크리트의 아치 메커니즘과 함께 접합부의 트러스 메커니즘을 이용하여 전단강도를 평가한다. 3개국 기준식에서는 접합부 강도에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 콘크리트의 압축강도와 접합부 면적을 꼽고 있다. 그러나 접합부에 존재하는 철근비와 축력비의 영향에 대해서는 서로 엇갈린 견해를 나타내고 있다. ACI 318-05기준과 일본 구조설계지침서 기준식에서는 철근비와 축력비에 의한 영향을 무시하고 있는 반면에 뉴질랜드 기준식<sup>3)</sup>에서는 두 요소에 의한 영향을 트러스 메커니즘을 이용하여 반영한다.

접합부의 강도 평가에 대한 연구에 비하여 접합부의 연성능력에 대한 연구는 상대적으로 부족한 편이다. Fujii와 Morita<sup>4)</sup>, Park 등<sup>5)</sup>은 실험적인 방법으로 보-기둥 접합부의 강도와 연성을 평가하였지만 이들 연구에서는 축력이 접합부의 강도 증가에 미치는 영향이나 고강도 콘크리트를 사용할 경우의 뉴질랜드 기준의 접합성 평가 등에 국한되어 직접적으로 연성 평가에 영향을 주는 요소를 평가하고 있지 않다.

이 연구에서는 보-기둥 접합부의 연성을 기둥, 접합부 패널 및 보의 연성으로 세분화하여 각각의 요소가 접합부의 연성에 미치는 영향을 평가하였다.

## 2. 보-기둥 접합부의 연성능력

보-기둥 접합부의 연성은 접합부를 구성하고 있는 세 가지 요소(기둥, 접합부 패널, 보)에 의하여 영향을 받는다. 그림 1은 수직 및 수평하중이 작용하는 보-기둥 접합부의 변형을 나타내고 있으며 접합부의 층간 변형각은 식(1)에 의하여 계산할 수 있다.

$$R_T = R_C + R_P + R_B \quad (1)$$

여기서  $R_C$ ,  $R_P$ ,  $R_B$ 는 각각 기둥, 접합부 패널, 보의 변형이다. Park 등<sup>5)</sup>의 연구에 의하면  $R_C$ ,  $R_P$ ,  $R_B$ 가 접합부 연성에 미치는 영향을 각각 0-5%, 10-25%, 70-90%이었다. 이와 같이 각 요소가 미치는 연성 비율은 접합부의 연성 크기에 따라서 달라졌다.

### 2.1 기둥의 변형

철근콘크리트 구조물의 바람직한 설계는 보에 소성힌지를 발생시키고 기둥은 탄성 상태를 유지

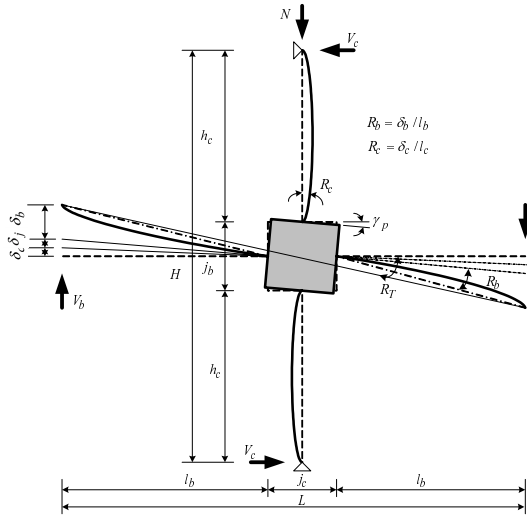


그림1. 보-기둥접합부의 변형

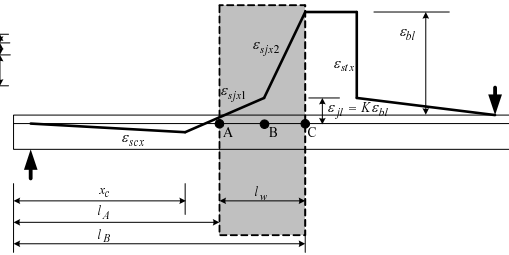


그림2. 접합부 내부의 보방향 철근변형률 분포

하는 것이다. 따라서 탄성해석에 의하여 기둥의 변형각을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$R_C = \theta_C \left( \frac{2h_c}{H} \right) = \left( \int_0^{h_c} \phi(x) \cdot x \cdot dx + 1.2h_c \frac{V_c}{G_c \cdot A_c} \right) \left( \frac{2h_c}{H} \right) \quad (2)$$

여기서  $\theta_C$  는 기둥의 회전각,  $h_c$  는 접합부에서 기둥 지점까지의 거리,  $H$  는 기둥 지점간의 거리,  $\phi_c$  는 곡률,  $V_c$  는 기둥전단력,  $G_c$  는 기둥 전단탄성계수,  $A_c$  는 기둥의 단면적,  $A_c$  는 기둥의 단면적이다.

### 2.2 접합부패널의 변형

접합부 패널의 변형은 보의 주인장철근이 항복한 이후에 증가하며, 보의 휨인장비와 축력비에 의하여 영향을 받는다. 이 연구에서는 Teraoka 등<sup>6)</sup>이 실험에 의하여 제안한 식(3)을 이용하여 접합부 패널의 부재회전각 ( $R_P$ )을 예측하였다.

$$R_P = \gamma_J \left( 1 - \frac{j_c}{L} - \frac{j_b}{H} \right) = \left[ 0.037 \left( \frac{V_P}{V_{fy}} \right)^{2.25} \cdot \left( \frac{f_{ck}}{4.7} \right)^{2.08} \cdot \rho_t^{1.72} \cdot \eta^{-0.75} \right] \left( 1 - \frac{j_c}{L} - \frac{j_b}{H} \right) \quad (3)$$

여기서  $\gamma_J$  는 접합부패널의 전단각,  $j_c, j_b$  는 보 및 기둥 축방향 접합부의 폭,  $L$  는 보의 지점간 거리,  $V_P$  는 접합부 패널의 전단강도,  $V_{fy}$  는 보의 휨항복강도,  $f_{ck}$  는 접합부 콘크리트의 압축강도,  $\rho_t$  는 보의 주인장철근비,  $\eta$  는 축력비이다.

### 2.3 보의 변형

보의 변형은 보-기둥 접합부의 변형에 가장 큰 영향을 미친다. 특히, 보에 소성힌지가 발생한 이후에 보가 급격하게 변형하게 되어 접합부의 변형이 증대하게 된다. 이 연구에서는 보의 변형을 식 (4)와 같이 구분하여 평가하였다.

$$R_B = R_{Bf} + R_{Bp} + R_{Bs} \quad (4)$$

여기서  $R_{Bf}$  는 보의 휨변형각,  $R_{Bp}$  는 보철근의 뿔힘변형,  $R_{Bs}$  는 보의 전단변형이다.

식(4)에서 보의 전단변형은 휨변형에 비하여 매우 작으므로 무시하였다. 보의 휨변형은 보에 소성

현지가 발생한 이후에 급격하게 증가한다. 이 연구에서는 보의 휨변형을 Lee 등<sup>7)</sup>이 제안한 식 (5)를 이용하여 계산하였다.

$$\epsilon_{bb} = ((R_{m_{pp}} + R_{m_{np}}) \cdot z) / (2l_p) \quad (5)$$

여기서  $R_{m_{pp}}$ 와  $R_{m_{np}}$ 은 정(正)과 부(負)방향의 소성 부재 회전각,  $z$ 는 보의 상·하현재 철근 중심 간의 거리,  $l_p$ 는 소성힌지길이이다. 보 철근의 뽑힘 변형은 그림 2 및 식(6)과 같이 보 철근의 부착성능의 저하를 고려하여 계산하였다.

$$R_{Bp} = \left[ \int_{x_c}^{l_A} (\epsilon_{s_{jx1}} - \epsilon_{s_{cx}}) dx + \int_{l_A}^{l_A + l_w/2} (\epsilon_{s_{jx1}}) dx + \int_{l_A + l_w/2}^{l_A + l_w} (\epsilon_{s_{jx2}}) dx \right] / z \quad (6)$$

여기서  $\epsilon_{s_{jx1}}, \epsilon_{s_{jx2}}$ 는 접합부에서의 철근 변형률을 나타낸다.

### 3. 결론

이 연구에서는 접합부의 연성능력을 기둥, 접합부 패널, 보로 구분하여, 각각의 요소가 미치는 영향을 평가하였다. 각각의 부재가 미치는 접합부의 변형은 보에 소성힌지가 발생한 이후에 급변하게 된다. 제안된 평가식에서는 보의 소성힌지가 접합부의 변형능력에 미치는 영향을 고려하여 접합부의 변형능력을 평가하였다. 기둥의 변형은 탄성해석에 의하여 평가하였으며, 보의 변형은 소성힌지에 의한 접합부의 강도 저감 및 부착강도저감에 의한 뽑힘변형의 영향을 고려하여 평가하였다. 제안된 평가식은 실험에 의한 검증이 필요할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 한국콘크리트학회 건설교통R&D정책-인프라사업(07기반구축A-01)에 의하여 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code and Requirements for Structural Concrete (318-05) and Commentary (318-05)," *American Concrete Institute*, Farmington hills, Michigan, 2005.
2. Architectural Institute of Japan, "Design Guidelines for Earthquake Resistance Reinforced Concrete Buildings Based on Inelastic Displacement Concept," *Architectural Institute of Japan*, 1999, 440pp.
3. *New Zealand standard Code of Practice for the design of Concrete Structures*, NZS 3101: Part 1, 127 p.; Commentary NZS 3101: Part 2, 156 p.; Standard Association of New Zealand, Wellington, New Zealand, 1982.
4. S. Fujii, S. Morita, "Comparison Between Interior and Exterior RC Beam-Column Joint Behavior," *ACI SP-123*, 1991, pp.145-166.
5. R. Park, H. Tanaka, X. Z. Xin, "High-Strength Concrete Beam-Column Joints of Moment Resisting Frames," *ACI SP-176*, 1998, pp.357-378.
6. Teraoka, M. "Study on Earthquake-Resistant Design Methods for Beam-Column Joints in High-rise Moment-Resisting Frames," Fusita Corporation, 1997, pp.124-135.
7. Lee, J.-Y. and Watanabe, F. "Predicting the Longitudinal Axial Strain in the Plastic Hinge Regions of Reinforced Concrete Beams Subjected to Reversed Cyclic Loading", *Engineering Structures*, Vol. 25. No. 7, June, 2003, pp.927-939.