

원전구조물의 외부 보기둥 접합부에서 철근 기계적 정착

Headed Bar Anchorage of Exterior Beam Column Joints in Nuclear Power Plants

천성철* 이성호** 오보환***
Chun, Sung-Chul Lee, Sung-Ho Oh, Bo-hwan

ABSTRACT

This study investigated headed bar anchorage of exterior beam column joints in nuclear power plants. In nuclear power plant structures, anchorage of headed bar is recommended to satisfy ACI 349-01 App. B that are based on the Concrete Capacity Design (CCD) method. However, CCD method may lead to very conservative results for beam column joints where head is anchored within the diagonal strut and concrete is confined by transverse rebar. Compared with results of 5 joint specimens, the anchorage capacities calculated by ACI 349-01 are underestimated by 70-90%. Therefore, it is necessary to amend ACI 349-01 for the mechanical anchorage in beam column joints.

1. 서론

격납구조물을 제외한 원자력 발전소 건물에 적용되는 ACI 349 Code Requirement for Nuclear Safety Related Concrete Structures⁽¹⁾에서는 콘크리트에 손상을 주지 않는 기계적 정착의 적용을 허용하고 있으며, CCD 설계법에 근거한 부록 B - Anchoring to Concrete에 따라 설계토록 규정하고 있다. 그러나 이 방법은 순수 앵커설계를 위해 만들어진 규정으로, 실제 구조물의 접합부에서 발생될 수 있는 인접부재의 응력흐름과 직교방향 철근의 영향을 고려하고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 원자력발전소 구조물에서 기계적 정착의 원활한 적용을 위하여, 보 기둥 접합부를 중심으로 ACI 349의 CCD 설계법의 적절성을 검토하였다.

2. 헤드 철근의 정착내력과 정착길의 산정

대부분의 현행 기준에서는 헤드 철근의 사용을 허용하고 있으나, 다음의 두 기준을 제외하고는 명확한 설계법을 제시하고 있지 않다. 따라서 원전구조물의 보 기둥 접합부에서 CCD 설계법의 적절성 검토 및 헤드 철근의 원활한 사용을 위해서는 두 기준의 비교가 필요하며, 상세 내용을 살펴 보면 다음과 같다.

* 정회원, 대우건설기술연구소 선임연구원

** 정회원, 대우건설기술연구소 전임연구원

*** 정회원, 대우건설기술연구소 수석연구원

2.1 ACI 349-01 부록 B

ACI 349-01 부록 B는 CCD방법(Concrete Capacity Design method)을 근간한 앵커 설계법으로, 묻힘 길이 (embedment length)/연단거리 (edge distance)/앵커간격/편심하중/균열의 영향을 고려하여 앵커의 내력을 규정하고 있다. 공칭설계내력은 다음 중 최소값을 사용하도록 하고 있다.

- Steel strength: $N_s = n A_{se} f_{ut}$

(n : headed bar 개수, A_{se} : headed bar의 유효면적, f_{ut} : 인장강도)

- Concrete break out strength: $N_{cb} = \frac{A_N}{A_{NO}} \Psi_1 \Psi_2 \Psi_3 N_b$

(A_n : 투영면적, $A_{NO} = 9 l_{dt}^2$, Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 : 편심, 연단, 균열 계수, $N_b = 3.9 \sqrt{f'_c} l_{dt}^{5/3}$)

- Pull out strength: $N_{ps} = \Psi_4 N_p$ (Ψ_4 : 균열여부, $N_p = A_{brg} 8 f'_c$, A_{brg} : 지압면적)

- Side face blow out strength: $N_{sb} = 13 c \sqrt{A_{brg}} \sqrt{f'_c}$ (c : 연단거리)

2.2 ACI 352-02⁽²⁾

ACI 352-02 보고서는 보-기둥 접합부에 정착된 헤드 철근의 정착 길이 및 배근 상세에 대해서 다음과 같이 상세히 규정하고 있다.

정착판은 접합부 전단보강근 외측에서 50 mm 이내에 위치시켜야 한다. 정착길이는 갈고리 정착길이의 3/4로 규정하고 있으며, 최소 정착길이는 $8d_b$ 또는 150 mm 이상이어야 한다.

$$l_{dt} = \frac{3}{4} l_{dh} = \frac{3 \alpha f_y d_b}{24.8 \sqrt{f'_c}} \quad [\text{Type 1 접합부}], \quad l_{dt} = \frac{3}{4} l_{dh} = \frac{3 \alpha f_y d_b}{16.8 \sqrt{f'_c}} \quad [\text{Type 2 접합부}]$$

여기서, l_{dh} : 갈고리 정착길이, Type 1 접합부: 비내진 상세를 가지는 접합부,

Type 2 접합부: 내진 상세를 가지는 접합부

3. 외부 보-기둥 접합부 실험

정착내력 비교를 위해서 2000⁽³⁾, 2005년에 수행된 총 5개의 실험체를 분석하였으며, 각 실험체의 상세와 실험결과는 다음과 같다

3.1 실험체 상세

실험체에는 각각 D22, 32, 36mm 보 주근이 사용되었고, 정착판의 면적은 철근 면적의 3~4배가 되도록 하였다. 콘크리트 강도 및 보 주근의 정착길이는 표 1과 같으며, 정착길이 소요량은 ACI 352-02를 근거로 산정하였다. 접합부의 배근 상세는 그림 1과 같다.

표 1 실험체 상세 및 정착길이

Specimens	beam section		Beam bar		f'_c [MPa]	l_{dt} [d_b]	
	b [mm]	h [mm]	Top	Bottom		Provided	Required
JM-1	350	500	4-D22	3-D22	61.7	15.6	7.8
JM-2	350	500	8-D22	6-D22	60.1	15.6	7.8
WM	800	400	5-D32	5-D32	56.4	13.2	8.7
JM-#11-a	450	505	3-D36	3-D36	32.8	11.5	12.4
JM-#11-b	450	505	3-D36	3-D36	32.8	11.5	12.4

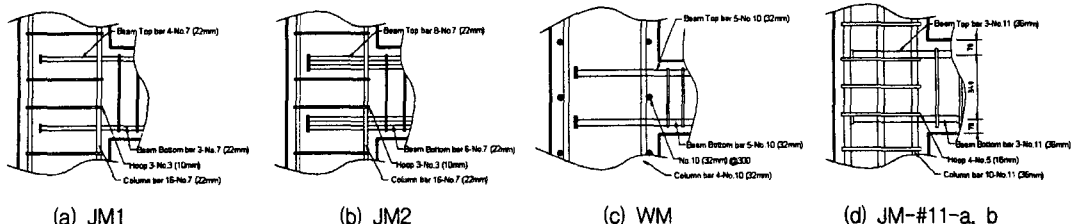


그림 1 접합부 상세

3.2 실험결과

각 실험체는 그림 2와 같이 보의 상단을 반복가력 하였다. JM-2를 제외한 모든 실험체에서 그림 3에서와 같이 접합부에 일부 전단균열이 발생하였으나, 6% 층간변위비까지 휨내력을 유지하였고 전형적인 보 휨파괴 형태를 나타냈다. 이를 근거로 보기둥 접합부에서 기계적 정착을 통하여 충분한 정착내력이 발현된 것으로 판단되어진다.

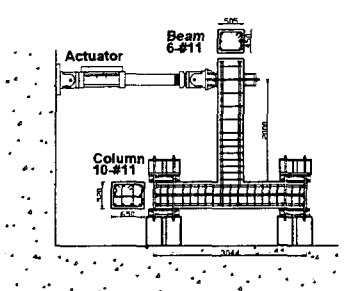


그림 2 실험체 set up

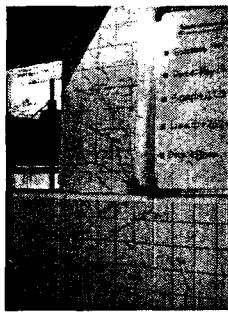


그림 3 실험사진 (JM-#11-a)

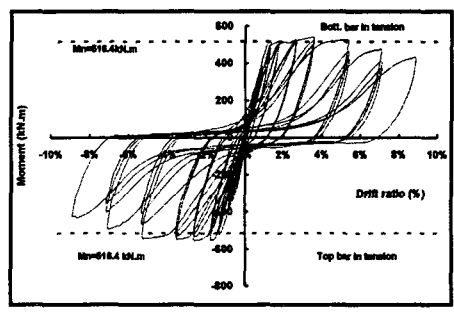


그림 4 Beam moment-drift ratio (JM-#11-a)

4. 정착내력 비교

ACI 352-02의 접합부 상세를 가지는 실험체의 실험결과와 각 실험체를 CCD 설계법으로 계산한 정착내력을 비교하였다 (그림 5). 실제 실험결과가 항복강도 이상 충분히 정착내력이 발현 된 것과는 달리, CCD 설계법은 정착내력을 매우 낮게 예측하고 있음을 알 수 있다. 그림 6에서 실험결과와 CCD 설계법에 의한 예측값을 항복강도로 표준화 한 결과, CCD 설계법은 항복강도의 11%~30%로 나타났다.

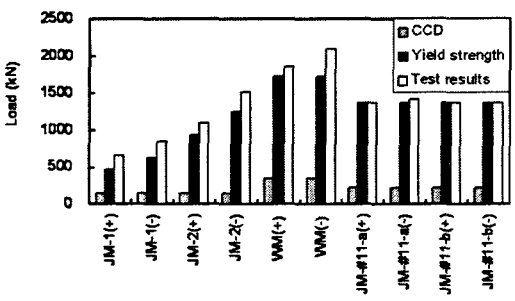


그림 5 정착내력 비교

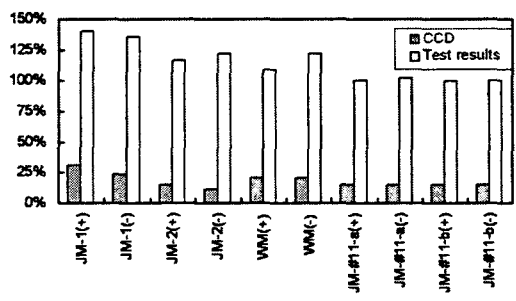


그림 6 정착 내력 (항복강도로 표준화) 비교

CCD 설계법은 그림 7과 같은 보기둥 접합부에서 콘크리트가 횡보강 철근에 의해서 충분히 구속되는 것과 압축 스트럿의 영향을 적절히 반영하지 못하고 있다.

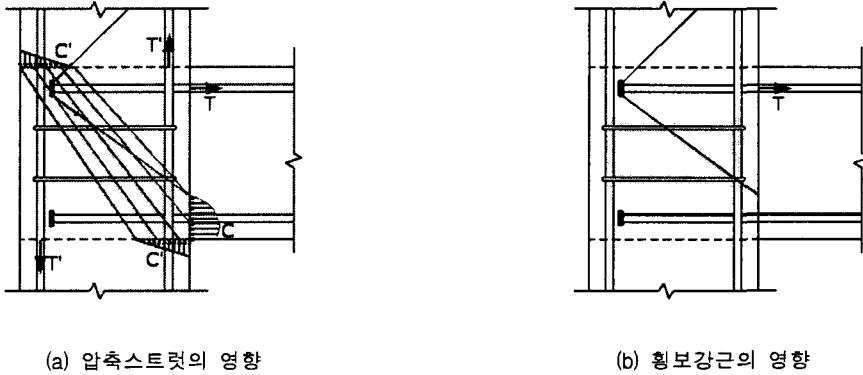


그림 7 보 기둥 접합부에서의 구속 효과

5. 결론

본 연구에서는 원자력발전소 구조물에서 기계적 정착의 원활한 적용을 위하여, 보기둥 접합부를 중심으로 ACI 352-02 설계법에 의한 접합부 상세를 가지는 실험체를 통하여 ACI 349의 CCD 설계법의 적절성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) ACI 352-02 접합부 상세를 가지는 보기둥 접합부에서, CCD 설계법은 항복강도의 11%~30%로 정착내력을 매우 낮게 평가하고 있다.
- (2) CCD 설계법은 보 기둥 접합부에서와 같이 콘크리트가 횡보강 철근과 압축 스트럿에 의해서 충분히 구속되는 것을 반영하지 못하고 있다.
- (3) 원자력발전소 구조물의 기계적 정착된 보기둥 접합부는 ACI 352-02를 통해서 설계되는 것이 적절하다고 판단된다.

참고문헌

1. ACI Committee 349, "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures (ACI 349-01) and Commentary (ACI 349R-01)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 134 pp.
2. Joint ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 37 pp.
3. Chun, S. C., and Kim, D.-Y., "Evaluation of Mechanical Anchorage of Reinforcement by Exterior Beam-Column Joint Experiments," Proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering (Paper # 0326), Vancouver, British Columbia, Canada, 2004.