

# 원전구조물의 확대머리 고강도철근 적용기술 개발

## The Technology Development for applying the High Strength Headed Deformed Bar to the Nuclear Power Plant Structures

이 병 수\*      방 창 준\*\*      이 한 우\*\*\*      임 상 준\*\*\*  
 Lee, Byung-Soo      Bang, Chang-Joon      Lee, Han-Woo      Lim, Sang-Joon

### Abstract

If the mechanical development is applied to the Nuclear Power Plant Structures instead of the standard hook development, the problem of overcrowding re-bars in the anchorage zone can be solved and the construction quality of the concrete work will be improved. But there are some problems in applying it to the NPP structures because of the restriction on the yield strength and diameter of the re-bar. After the performance evaluation test for the mechanical development, we can develop the new design equation of the mechanical development length in order to solve the limitation and apply it to NPP structures.

키 워 드 : 고강도철근, 확대머리철근, 원전구조물  
 Keywords : High-Strength Re-Bar, Headed Deformed Bar, Nuclear Power Plant Structure

### 1. 서 론

일반 표준갈고리 정착 대신 기계적 정착(확대머리 철근)을 적용하여 정착길이를 줄임으로써 철근량(구매, 가공, 설치 물량)이 절감되고 과밀배근이 완화되어 철근콘크리트 공사의 품질향상도 기대할 수 있다. 본 연구에서는 기계적정착을 원전구조물에 적용할 수 있는 설계식을 개발하고 검증할 목적으로 수행중인 기계적정착 성능평가실험에 대해 살펴보고자 한다.

### 2. 기계적정착 설계기술기준 검토

원전에 적용되는 해외 설계기준인 ASME Sec. III Div.2, ACI 349-06, ACI 318-11의 현황 및 문제점은 아래와 같으며, 국내 설계기준인 KEPIC SNB, SNC, SGB도 크게 다르지 않다.

표 1. 기계적정착 설계기술기준

구 분	ASME Sec.III Div.2 (KEPIC SNB)	ACI 349-06 (KEPIC SNC)	ACI 318-11 (KEPIC SGB)
현 황	○ 기계적정착 사용을 허용 ○ 구체적 설계식 부재	○ 앵커 설계규정에 따르도록 규정 → 철근의 부착내력을 배제	○ 구체적인 정착길이 산정식 제시 → 갈고리 정착길이의 80%수준
문제점	○ 정착부형상, 정착길이 등 결정 곤란 → 정착설계 기피	○ 과도한 보수적 설계 → 과도한 정착길이	○ 강도, 지름 등 과도한 제한 → 원전적용 불가
정착 길이 산정식	-	-	$l_{dt} = \frac{0.016f_y}{\sqrt{f_c}} d_b [psi]$ $= 0.8 \times \frac{0.02f_y}{\sqrt{f_c}} d_b [psi] = 0.8l_{dt} [psi]$
제한 사항	-	-	1) 철근 설계기준항복강도( $f_y$ ) : 60,000 psi 이하 2) 철근 직경 : #11(35mm) 철근 이하 3) 콘크리트 종류 : 보통중량 콘크리트 4) 순지압면적( $A_{0.05}$ ) : 철근 단면적 4배( $4A_b$ ) 이상 5) 순피복 두께 : 철근 직경의 2배 이상( $2d_b$ ) 6) 철근 순간격 : 철근 직경의 4배 이상( $4d_b$ )

\* 한국수력원자력(주), 차장, 교신저자(lbs@khnp.co.kr)  
 \*\* 한국수력원자력(주), 부장  
 \*\*\* 한국수력원자력(주), 주임  
 \*\*\*\* 한국수력원자력(주), 주임

### 3. 실험방법 결정

본 연구는 ACI 318-11의 설계식 도출에 직접적인 영향을 미친 이음실험과 CCT 절점 실험을 수행하고, 이외는 별도로 정착부의 인위적 구속이 없어 가장 위험한 경우를 모사할 수 있는 TTC 절점 실험을 수행하도록 계획되었다.

표 2. TTC 및 CCT 절점 실험 비교표

구 분	TTC절점 정착	CCT절점 정착
적용 부위	cut-off 등 압축을 받지 않는 영역에서의 정착	보-기둥 접합부 등 접합부
파괴 양상	측면파열 파괴	측면파열 파괴
주요한 파괴원인	지압, 부착에 의한 횡방향 인장응력 prying 거동	지압, 부착에 의한 횡방향 인장응력
도출된 설계식	확대머리 정착길이 설계식	갈고리 정착길이 설계식
기존 연구 (확대머리철근)	Thompson 겹침이음 실험	Thompson CCT 실험 및 Bashandy 실험
기존 연구 (일반철근)	직선철근 겹침이음 실험	Marques & Jirsa 갈고리실험

### 4. 실험 결과

#### 4.1 TTC 절점 실험

내민보 형식을 통해 외력이 정착부를 구속하지 않는 가장 위험한 정착부위를 모사할 수 있도록 철근의 직경, 정착길이, 순간격, 횡보강 철근지수를 실험변수로 하여 일반강도 철근(Gr.60) 철근에 대한 TTC 절점 실험을 수행하였다. 정착성능은 횡보강 철근지수의 영향을 가장 크게 받았고 횡보강 철근지수( $K_{tr}$ )가 증가( $0d_b \rightarrow 1d_b \rightarrow 2d_b$ )함에 따라 정착성능도 큰 폭으로 증가(243→327→419MPa) 하였다. 철근 순간격이 증가( $2d_b \rightarrow 3d_b$ )하면 정착성능도 20.3%(243→305Mpa) 증가하였으며, 철근직경이 33% 증가(43→57mm)하면 정착성능은 미미하게 감소(3.7%) 하였으나 무시할 수 있는 수준이다.

#### 4.2 CCT 절점 실험

보-기둥 접합부 정착부위를 모사할 수 있도록 철근직경, 철근항복강도, 문힘깊이, 측면 피복두께, 횡보강 여부를 실험변수로 하여 고강도 철근(Gr.80, 43mm)에 대한 CCT 절점 실험을 수행하였다. 정착성능은 측면 피복두께의 영향을 가장 크게 받았으며 문힘깊이는 횡보강근이 없는 경우에만 영향을 받았다. 즉, 횡보강근이 없는 경우 문힘깊이가 18.8%( $16d_b \rightarrow 13d_b$ ) 감소할 때 정착성능도 평균 14.0%( $607 \rightarrow 540\text{MPa}$ ,  $572 \rightarrow 475\text{MPa}$ ) 감소하였다.

### 5. 향후 계획

정착길이, 횡보강 철근지수를 실험변수로 한 고강도철근(Gr.80, 35~57mm)의 TTC절점 실험은 한양대에서 수행될 예정이다. 또한, 정착길이, 측면 피복두께 및 횡보강 여부를 실험변수로 한 대구경 철근(57mm) CCT절점 실험과 철근항복강도, 콘크리트압축강도, 이음 길이 및 횡보강 철근지수를 실험변수로 한 대구경 철근(43, 57mm) 겹침이음 실험이 목포대에서 수행될 계획이다. 상기 실험결과를 분석하고 기계적정착 구조성능을 평가하여 ACI 318-11 정착길이 산정식의 고강도철근(Gr.80) 및 대구경 철근(57mm) 적용가능성을 확인하고 필요시 별도의 설계식을 도출할 계획이다.

### Acknowledgement

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었으므로 이에 감사드립니다. (No.2011T100200162)

## 참 고 문 헌

1. KEPIC SGB 일반구조-철근콘크리트구조, 대한전기협회, 2006
2. KEPIC SNB 원자력구조-격납구조, 대한전기협회, 2007
3. KEPIC SNC 원자력구조-철근콘크리트구조, 대한전기협회, 2005
4. ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, 2011
5. ACI 349-06 Code Requirements for Nuclear Safety- Related Concrete Structures and Commentary, 2006
6. ASME III Rules for Construction of Nuclear Facility Components, Division 2 Code for Concrete Containments, 2011