

# 고강도철근 기계적정착의 원전구조물 적용을 위한 성능평가실험

## Performance Evaluation Test for Applying the Mechanical Development of the High-Strength Reinforcing Bars to the Nuclear Power Plant Structures

이 병 수\*      방 창 준\*\*      임 상 준\*\*\*      김 석 철\*\*\*  
 Lee, Byung-Soo    Bang, Chang-Joon    Lim, Sang-Joon    Kim, Seok-Cheol

### Abstract

If the mechanical development be 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 re-bar yield strength and diameter. 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, 기계적정착, 성능평가실험, 원전구조물

Keywords : High-Strength Re-Bar, Mechanical Development, Performance Evaluation Test, Nuclear Power Plant Structure

### 1. 서 론

일반 갈고리정착 대신 기계적정착을 적용할 경우 정착길이를 줄여 구매, 가공, 설치되는 철근량을 절감하고 철근 과밀배근을 완화하여 철근콘크리트 공사의 품질향상도 기대할 수 있다. 그러나 여러 제약사항으로 인해 원전건설에 기계적정착을 적용하지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 기계적정착을 원전구조물에 적용할 수 있도록 설계식을 개발하고 검증하기 위해 계획된 성능평가실험에 대해 살펴보고자 한다.

### 2. 기계적정착 설계기준 검토

ASME III Div.2에는 기계적정착의 사용이 허용되며 정착부와 철근의 이음이 설계기준강도의 125% 이상을 발현하도록 규정하고 있으나 설계를 위한 구조상세에 대한 구체적인 규정은 없다.

ACI 349-06에서는 콘크리트에 손상을 주지 않으면 어떠한 기계적정착도 사용가능하나 부록 D-Anchor to Concrete 규정에 따라 앵커설계법에 따라 설계하도록 규정함. 이는 순수 앵커설계용 설계규정으로 정착강도가 너무 낮게 설계되어 실 구조물 적용에는 한계가 있다.

원전에 적용되는 국내 설계기준인 KEPIC SNB와 SNC에도 상기의 ASME Sec. III Div.2 및 ACI 349-06 설계기준과 다르지 않다.

반면, ACI 318-11에는 구체적인 정착길이를 갈고리 정착길이의 80% 수준으로 규정하고 있으나, 다음과 같이 철근 직경 및 설계 기준항복강도, 피복두께 및 순간격에 대한 제한사항으로 인해 원전구조물 적용에 한계가 있는 실정이다.

1) 계산식 :

$$l_{dt} = \frac{0.016f_y}{\sqrt{f_c}} d_b [psi]$$

$$= 0.8 \times \frac{0.02f_y}{\sqrt{f_c}} d_b [psi] = 0.8l_{dh} [psi]$$

2) 적용시 제한사항

- a) 철근의 설계기준항복강도( $f_y$ ) : 60,000 psi 이하
- b) 철근 직경 : #11(35mm) 철근 이하
- c) 콘크리트 종류 : 보통중량 콘크리트
- d) 순지압면적( $A_{brz}$ ) : 철근 단면적의 4배( $4A_b$ ) 이상
- e) 순피복 두께 : 철근 직경의 2배 이상( $2d_b$ )
- f) 철근 순간격 : 철근 직경의 4배 이상( $4d_b$ )

### 3. ACI 318-11 설계식의 변수확장

구체적인 설계식을 제시하고 있는 ACI 318-11의 설계식을 원전구조물의 특성에 맞는 설계식의 개발이 필요하며, 원전구조물

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

\*\* 한국수력원자력(주), 부장

\*\*\* 한국수력원자력(주), 주임

\*\*\*\* 한국수력원자력(주), 주임

특성을 고려하여 설계식 변수의 확장여부 확인을 통하여 상기 설계식의 제한사항을 조정할 수 있도록 하여 실험계획을 수립하였다.

표 1. 설계변수 확장범위표

항 목	ACI 318-11 12.6	확장 범위
철근항복강도	420 MPa (60,000 psi)	550 MPa (80,000 psi)
철근 최대직경	35mm (#11 철근)	57mm (#18 철근)
순간격	$4d_b$	$2d_b$
횡보강철근	X	고려
피복두께	$2d_b$	$1d_b$

#### 4. 실험방법 결정

ACI 318-11 설계식은 이음실험(Thompson, 2006), CCT 절점실험(Thompson, 2006), Shallow Embedment Pullout 실험(DeVries, 1996) 및 Deep Embedment Pullout 실험(DeVries, 1996) 결과를 회귀분석하여 하한값으로 도출하였으며, 가장 보수적인 정착강도를 갖는 실험방법은 기계적정착을 이용한 이음실험과 CCT 절점에 정착된 실험이었다.

본실험은 ACI 318-11 설계식 도출에 직접적인 영향을 미친 이음실험과 CCT 절점 실험을 수행하고 이와는 별도로 가장 위험한 경우를 모사할 수 있도록 정착부의 인위적 구속이 없는 TTC 절점실험을 수행하여 실험변수에 대한 정착강도를 검증하도록 계획을 수립하였다.

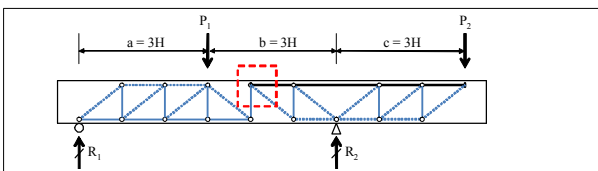


그림 1. TTC 절점실험 가력도

#### 5. 실험변수 결정

원전구조물의 특성을 반영하여 ACI 318-11 설계식의 제한사항을 확장할 필요가 있으므로 이의 확장여부를 확인할 수 있도록 철근직경, 정착길이, 순간격, 횡보강근 유무를 실험변수로 선정하였다.

표 2. 실험변수 선정사유

항 목	선정사유	비 고
철근직경 ( $d_b$ )	기존실험과의 연속성을 확보하고 대구경철근의 기계적정착 적용가능성을 확인	#11 (35mm) #14 (45mm) #18 (57mm)
철근항복강도 ( $f_y$ )	ACI-318-11에 제한된 철근항복강도를 고강도철근으로 적용범위 확장	420 MPa 550 MPa
정착길이 ( $l_d$ )	ACI 318-11의 설계식에 따른 정착길이 계산식의 조정여부 확인 목적 (계산값에서 $3d_b$ 씩 감소)	$18d_b$ $15d_b$ $12d_b$
순간격 ( $c_s$ )	ACI 318-11의 최소 순간격을 기준으로 $1d_b$ 씩 감소	$4d_b$ , $3d_b$ , $2d_b$
횡보강근 ( $K_{tr}$ )	횡보강철근의 Passive Confinement Effect 확인 목적	無, $1d_b$ , $2d_b$

#### 6. 실험체 설계

내민보 형식을 통해 외력이 정착부를 구속하지 않는 가장 위험한 정착부를 모사하고 순간격을 고려해 줄 수 있도록 2개의 헤드 철근을 사용하여 설계하였고 상기 실험변수가 반영된 대구경 철근 및 고강도 철근의 17개 실험체를 계획하고 설계하였다.

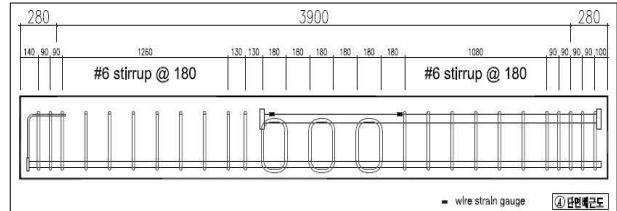


그림 2. TTC 절점실험 실험체 도면

#### 7. 향후 계획

기존의 실험자료가 없는 TTC 절점실험을 최우선적으로 수행계획이며, 원전에 사용되는 철근(ASTM A615)의 확보가 용이한 Gr.60 철근이 사용된 실험체에 대한 성능실험이 진행되고 있으며, Gr.80에 철근의 TTC 절점실험, CCT 절점실험 및 이음실험을 목포대와 한양대에서 순차적으로 실험과 실험결과분석을 2014년까지 수행하여 설계식을 도출할 예정이다.

#### 감사의 글

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었으므로 이에 감사드립니다. (No.2011T100200162)

#### 참 고 문 헌

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