

원전 구조물의 고강도 철근 설계기준 적용을 위한 휨부재 평가 실험

Performance Evaluation Test of the flexural members of High-Strength Reinforcing Bars for Nuclear Power Plant Structure

임 상 준* 김 석 철** 이 한 우***
 Lim, Sang-Joon Kim, Seok-Chul Lee, Han-Woo

Abstract

One of the advantages using High-Strength steel reinforcement in construction is the economic effect due to the decreasing of its quantity. Also, another good effect is the increases of workability by reason of reducing the congestion. This study explain plan of experiment after analysing of ACI 318, 349, 359 to develop 550MPa re-bar design criteria applicable to flexural members of nuclear power plants.

키 워 드 : 균열, 원자력발전소, 고강도철근, 휨
 Keywords : Crack, Nuclear Power Plant, High-Strength Steel reinforcement, flexural member

1. 서 론

최근 수주한 United Arab Emirates(이하 UAE) 원전으로 인해 우리나라는 세계 6번째 원전 수출국이 되었지만, 치열한 해외 원전 수주 경쟁으로부터 수출경쟁력 확보를 위해서는 설계 최적화를 통한 안전성 향상, 시공물량 절감 및 건설기간을 단축시킬 수 있는 구조물 설계기술 개발이 시급하다. 특히, 원전 시공물량 최적화를 위해서는 철근량 절감과 철근 밀집 해소가 필요하며 이를 위해서는 고강도 철근의 적용 설계기술 개발이 필요하다. 이에 따라 한국수력원자력(KHNP)은 항복강도 550MPa급 고강도 철근을 활용한 원전구조물 설계기준 개발을 통해 콘크리트의 부실 시공 우려 가능성을 유발할 수 있는 과도한 철근량을 감소시켜 경제성을 높이는 반면에, 높은 수준의 안전성 및 내구성을 그대로 유지하는 것을 목표로 하고 있다. 본 연구에서는 550MPa철근을 원전 휨부재 설계기준에 적용하기 위해 ACI 318, 349, 359의 철근간격 조건을 분석후, 휨균열 분석을 위한 실험계획을 기술하였다.

2. 원전구조물의 휨 부재 균열코드 분석

원전구조물의 보조건물 및 원자로건물의 내부구조물과 같은 철근콘크리트구조물의 경우 ACI 349(KEPIC SNC) 설계기준을 적

용하고 있고, ACI 349에서는 철근의 설계기준 항복강도를 420MPa(60ksi)로 제한하고 있다.

ACI 318과 ACI 349에서는 Frosch의 경험적 균열검증 모델을 근간으로 하고 있으며, 식(1)을 통해 철근 최대간격을 규정하여 콘크리트의 균열을 제어하고 있다.

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2.5c_c \leq 300 \left(\frac{280}{f_s} \right) \quad (1)$$

철근콘크리트 구조물의 균열은 철근의 응력, 철근 표면의 기하학적 구조, 콘크리트 강도, 피복두께, 크리프와 건조수축 등에 따라서 다른 거동을 보인다. 하지만 ACI 318과 ACI 349에서는 설계에 간편히 적용할 있도록 철근의 응력(f_s)과 피복두께(c_c)만을 고려하여 균열을 제어하고 있다. ACI 359에서는 전 단면적의 0.2%에 해당하는 양 만큼 철근을 배치하도록 규정하여 균열을 제어하고 있다. 이처럼 ACI 318, ACI 349, ACI 359에서 규정하고 있는 균열 제어 방법은 철근콘크리트 구조물의 균열거동에 영향을 미치는 다양한 변수들을 고려하지 않고 있다.

본 연구에서는 대구경 철근을 포함한 고강도 철근의 균열거동을 실험적으로 검증하고, ACI 318, ACI 349, ACI 359의 균열 제어 방법을 고강도 철근에 적용할 수 있는지의 여부를 검토하는 것을 목적으로 하고 있다. 균열동은 실험적으로 검증하기 위해서 휨인장 실험을 계획하였다.

* (주)한국수력원자력, 일반연구원, 교신저자
 (juni8765@khnp.co.kr)
 ** (주)한국수력원자력, 주임
 *** (주)한국수력원자력, 차장

표 1 실험체 변수

No.	b (mm)	h (mm)	Bar size (#)	As/Ag	cc/db	s	cc (mm)	f _{ck} (MPa)
1	96	348	5	0.0060	0.40	-	40	
2	105	453	8	0.0107	0.64			
3	116	458	11	0.0190	0.90			
4	123	462	14	0.0256	1.08			
5	137	469	18	0.0401	1.43			
6	480	348	5	0.0024	0.40	384	42	
7	489	453	8	0.0046	0.64			
8	499	458	11	0.0088	0.90			
9	507	462	14	0.0124	1.08			
10	521	469	18	0.0211	1.43			
11	425	458	5	0.0020	0.11	109	150	
12	434	563	8	0.0042	0.17			
13	444	568	11	0.0080	0.24			
14	452	572	14	0.0113	0.29			
15	466	579	18	0.0191	0.38			
16	480	264	5	0.0031	0.40	384	40	70
17	489	453	8	0.0046	0.64			
18	499	458	11	0.0088	0.90			
19	507	462	14	0.0124	1.08			
20	521	469	18	0.0211	1.43			

3. 원전구조물의 휨·압축 부재 실험계획

실험 변수는 철근 수, 철근 지름, 철근 표면과 콘크리트 표면 사이의 최소 두께, 콘크리트 압축강도를 선택했다.

실험변수는 표 1에 나타내었다. 1~5번 실험체를 통해 균열거동에서 변형률 경사의 영향을 확인하고자 한다. 6~15번 실험체는 철근 간격을 변수로 추가하기 위해 인장철근을 2개 배치한 실험체로, 철근간격은 ACI 349에서 규정하고 있는 최대 철근간격으로 배치했다. ACI 318, ACI 349에서는 철근 표면과 콘크리트 표면 사이의 최소 두께에 따라 최대 철근간격을 제한하여 균열을 제어하고 있으므로 철근 표면과 콘크리트 표면 사이의 최소 두께를 변수로 선택했다. 대구경철근과의 비교를 위해 #5, #8, #11 철근을 변수에 포함시켰으며, 대구경 철근의 균열거동을 검증하기 위해 #14, #18 철근을 변수로 선택했다. 또한 같은 연구과제로 수행중인 고강도 콘크리트도 변수로 선택했다. 실험체사이즈는 그림1, 그림2에 나타내었다. 철근은 모두 550MPa의 고강도 철근만을 사용했는데, 철근은 항복강도가 다르더라도 탄성계수는 동일한 것이 일반적이므로 철근이 항복하기 이전의 균열거동을 관찰하는 이 실험에서는 고강도 철근을 사용한 실험으로 일반강도 철근의 균열거동도 함께 관찰할 수 있을 것으로 판단된다.

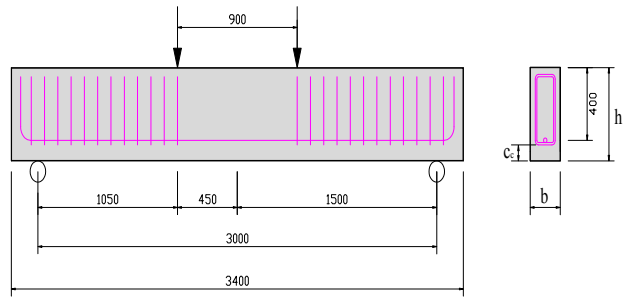


그림 1 No.1~5 실험체

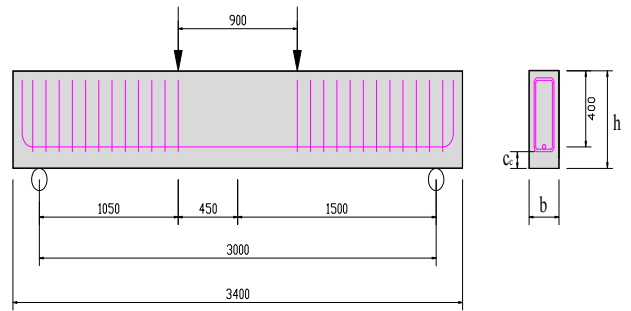


그림 2 No.6~20 실험체

4. 결론

원전구조물은 설계최적화를 통해 안전성향상, 시공물량 절감 및 건설기간을 단축시킬 수 있는 구조물 설계 기술개발이 요구된다. 따라서, 원전구조물의 코드현황을 파악한 후 고강도 철근 기술개발을 통해서 기술적, 경제적, 산업적 측면에서 파급효과를 높이기 위해, 신뢰성 있는 실험계획을 수립하였다. 향후 도출된 실험결과와 원전구조물의 요구성능을 비교하여, 고강도철근의 원전 적용에 필요한 설계식개발에 중요한 자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. 전력산업기술기준, KEPIC SNB 격납구조 기술기준
2. 전력산업기술기준, KEPIC SNC 철근콘크리트구조 기술기준
3. ACI 318-11, Building Code Requirements for Structural Concrete, pp.174, 2011
4. ACI 349-06, Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures and Commentary, pp.45, 2006