

지지대 및 체결볼트를 이용한 프리캐스트 콘크리트 골조구조의 보 하단철근 정착공법 개발

Mechanical Bar Anchorage of the PC Beam in Beam-Column Joint Using Plates and Bolts

유 영 찬* 최 근 도** 김 긍 환*** 이 리 형****
You, Young Chan Choi, Keun Do Kim, Keung Hwan Lee, Li-Hyung

Abstract

The purpose of this study is to develop the mechanical anchorage, namely **MAB-BOP** (**M**echanical **A**nchorage of 90° **H**ooked **B**ars with **B**OLT and **P**late) of the beam-column joint in precast concrete framed structures. Six specimens simulating typical interior beam-column joints were tested to investigate the mechanical characteristics of **MAB-BOP**. Of primary interest was the measurement of the slip of the anchored bar. The load-slip curve obtained from this test were used to compare the mechanical performances of the different anchoring methods. Based on the test results, it was found that **MAB-BOP** showed sufficient anchoring strength capacity compared to 90° hooked bar method. So, **MAB-BOP** can be used as the anchoring methods of the reinforcing bars in PC beam-column joint.

1. 서 론

공장생산과 현장조립에 의해 건설되는 프리캐스트 철근콘크리트 골조 구조시스템은 공장생산된 각종 구조부재가 접합부에서 일체화되어야 하므로 현장타설 공법과 비교하여 보-기둥 접합부의 구조적 안전성 및 현장 시공성의 확보가 요구되어 진다. 기존의 보-기둥 접합부에서, 보 하단철근의 정착방법은 보 하단철근을 90° 로 절곡하여 소요길이 이상을 기둥부재에 정착시키는 방법이나 보-기둥 접합부의 기둥단면 내에서 양단 보 철근의 기계적인 이음을 통하여 정착시키는 방법이 있다. 그러나 첫 번째 정착방법은 기둥 좌·우측에서 정착되는 하단철근이 서로 중첩되어 철근배근이 과밀하게 되므로 배근 자체가 어려울 뿐만 아니라 콘크리트의 타설도 어려운 점이 있다. 또한 보 하단철근을 서로 용접하는 방법의 경우에도 먼저 용접된 하단철근과 교차되는 방향의 보 철근은 용접하기 어려운 단점이 있다. 따라서, 보-기둥 접합부의 철근배근 상세는 프리캐스트 보 하단철근의 정착성능을 확보한 상태에서 프리캐스트 부재의 공장제작 및 현장조립의 합리성을 전제로 개발되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 90° 혹은 기계적 정착방법을 응용한 보 하단철근의 정착방법을 제안하고 이에 대한 구조성능을 평가함으로써 새로운 프리캐스트 보-기둥 접합부의 배근상세를 개발하고자 한다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 건축연구부 건축구조·재료그룹, 선임연구원, 공학박사

** 정회원, 한국건설기술연구원 건축연구부 건축구조·재료그룹, 연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원, 선임연구부장, 공학박사

**** 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2. 지지대 체결볼트형 철근정착 공법(MAB-BOP)

2.1 공법 개요

본 연구에서 제안된 기계식 철근정착 공법(이하 MAB-BOP 공법)은 그림 1에 나타난 바와 같이 기둥 좌·우에 배치될 프리캐스트 보의 하단철근을 기둥의 중심선 근처에서 90°로 절곡하여 정착하되 정착내력의 부족을 보완하기 위하여 90°로 절곡된 프리캐스트 보의 하단철근들에 지지대를 대고 이를 볼트로 체결하여 정착하는 특징을 지니고 있다.

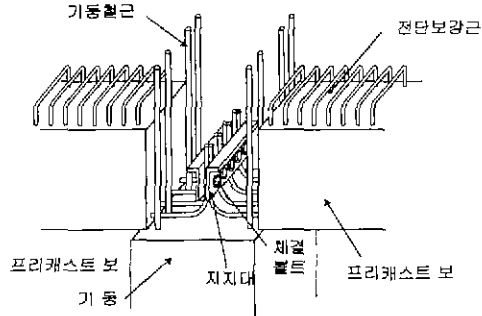


그림 1 지지대 체결볼트형 정착공법 (MAB-BOP)

2.2 공법의 구성

2.2.1 지지대의 형상 및 지지부위

- (가) 기둥단면이 상대적으로 큰 경우 - 지지대의 지지부위를 90° 절곡철근의 수직부에 지지하며 형상도 단순한 것을 선택함으로써 시공 및 조립의 편의성을 우선하여 공법을 구성한다.
- (나) 기둥단면이 상대적으로 작은 경우 - 지지대의 지지부위를 90° 절곡철근의 절곡부위에 지지하여 볼트의 중심과 철근 중심과의 거리를 줄이며 형상도 폐쇄형 앵글을 사용한다.

2.2.2 단면 형상

- 일체형 - 보 하단철근 전체를 하나의 지지대로 지지하고 볼트로 체결한다.
- 분리형 - 보 하단철근을 2개 이상의 지지대로 분리하고 각 지지대를 볼트로 체결한다.

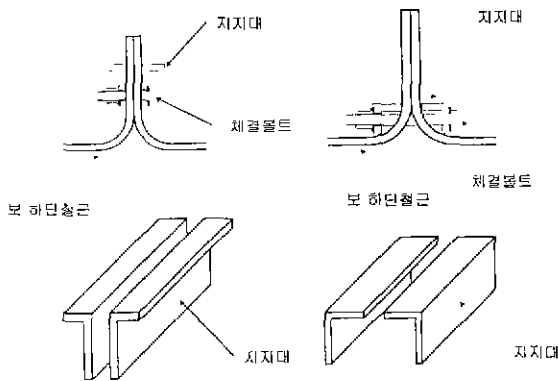


그림 2 지지대의 형상 및 지지부위

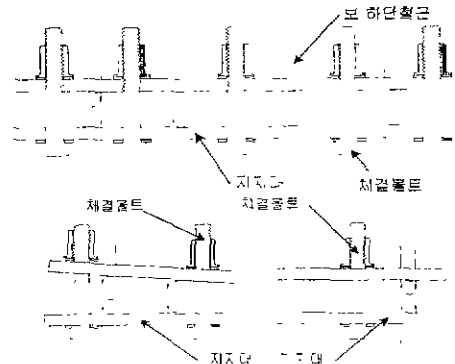


그림 3 지지대의 단면 형상

3. 실험

본 연구에서 제안한 MAB-BOP 공법의 구조성능을 검토하기 위하여 보-기둥 내부 접합부를 모델로 보 철근정착 실험체를 제작한다. 실험체는 콘크리트를 3단으로 분리타설하여 8개의 실험체를 제작하였으며 현행규준에 의한 90° 후크정착 공법과 MAB-BOP 공법을 적용한 실험체를 대상으로 한다.

3.1 실험체 계획

실험체의 형상은 그림 4에서 보는 바와 같이 보-기둥 접합부에서 보 철근의 인발이 용이하도록 보 부분에는 콘크리트를 타설하지 않은 형태로 계획한다. 실험체의 크기는 $b = 40\text{cm}$, $D = 40\text{cm}$, $h = 115\text{cm}$ 로 하며, 정착철근에 가력되는 인발하중이 보의 압축응력블록 부분에 발생하는 내력과 동일하도록 기둥 높이와 각 구속지점의 위치를 계획한다. 정착철근은 기둥면에서 약 45~50cm 정도 연장하여 제작하고 인발장치와 체결될 수 있도록 단부에 나사가공을 한다. 정착철근의 수평정착길이는 $9d_b$, $12d_b$ 및 $14d_b$ 로 제작한다. 보의 압축부분은 플레이트(steel plate)를 기둥면에 설치하여 보의 압축응력 블록이 발생되도록 한다. 지지대의 체결에 사용한 보울트는 각 실험체의 정착철근과 동일한 것을 나사가공하여 사용한다. 각 실험체의 제원은 표 1과 같으며 실험에 사용된 철근 및 콘크리트의 강도특성은 각각 표 2 및 표 3과 같다.

표 1 실험체 일람표

실험체명	철물 개수	정착 방법	지지대의 두께(d_b)	보 철근	수평정착 길이(d_b)
P16-R1-0.5T1S-12	1	지지대	0.5	4-HD16	12
P16-V1-PLATE-12	1	지지대	0.5	4-HD16	12
P16-V1-ANGLE-12	1	지지대	0.5	4-HD16	12
P22-R1-0.5T1S-9	1	지지대	0.5	2-HD22	9
P16-90HOOK-14	-	90° 후크	-	4-HD16	14
P22-90HOOK-14	-	90° 후크	-	2-HD22	14

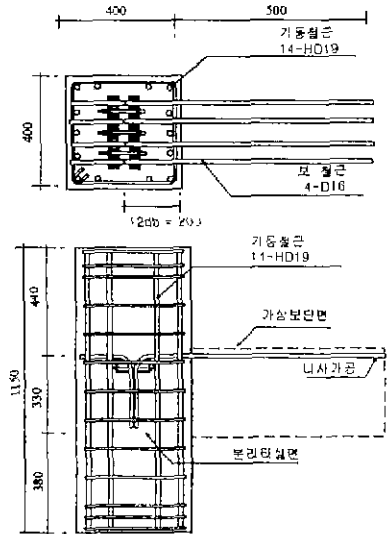


그림 4 실험체 상세

표 2 철근 인장강도 시험결과

종류	직경	항복강도 (kg/cm^2)	최대인장강도 (kg/cm^2)	연신율 (%)
기둥철근	D19(SD40)	3714	6557	25
보 철근	D16(SD40)	4000	6485	29
	D22(SD40)	-	6919	21
전단보강 철근	D10(SD40)	3750	6478	17

표 3 콘크리트 압축강도 시험결과

실험체 종류	부재명	7일 강도 (kg/cm^2)	28일 강도 (kg/cm^2)
프리카스트형 (기계적 정착공법 적용)	하부기둥	190.2	256.1
	보	218.2	251.3
	상부기둥	190.2	247.0
일체타설형 (90° 후크공법)	하부기둥,보	190.2	256.1
	상부기둥	190.2	247.0

3.2 가력 및 측정방법

실험방법은 철근에 대한 단조 인발형(pull out)으로서 그림 5에서 보는 바와 같이 일정 속하중 86.4ton ($0.2f_c A_g$)을 가력한 상태에서 철근에 연결된 수평가력장치를 사용하여 인발하중을 단조가력한다.

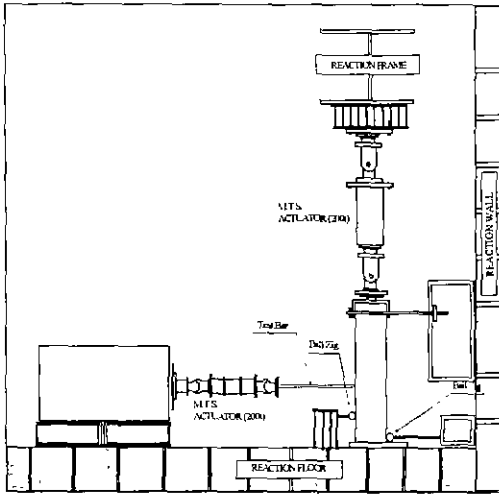


그림 5 실험체 설치도

4. 실험결과 및 분석

4.1 실험체의 균열 및 파괴양상

대부분의 실험체 파괴양상은 하중가력시부터 철근의 항복 및 최종파괴양상 까지 유사한 거동을 나타내었다. 초기균열은 지지대 주위에서 발생한 후, 점차 하중이 증가함에 따라 방사형으로 진전하였으며 30ton~33ton에서 보 철근이 항복하였고, 보 철근이 매립된 기둥 전면 콘크리트가 탈락하면서 철근이 파단되어 최종파괴에 이르렀다. 각 실험체의 최대 내력을 비교해 보면 기계적 정확을 한 실험체의 내력은 모든 실험체가 항복강도의 1.25배를 초과하는 내력을 나타내었다.

표 4 실험결과 일람표

실험체명	최대강도 (ton)	최대강도시 변위 (mm)	최종파괴형태
P16-R1-0.5T1S-12	45.7	7.37	나사가공부파단
P16-V1-PLATE-12	50.1	16.80	철근파단
P16-V1-ANGLE-12	47.2	12.59	과다인발
P22-R1-0.5T1S-9	46.2	14.78	철근파단
P16-90HOOK-14	45.3	11.22	철근파단
P22-90HOOK-14	44.5	12.66	과다인발

4.2 실험 변수별 실험결과 비교

4.2.1 보 철근의 정착방법

보 철근의 정착방법에 따른 비교대상 실험체의 하중-변위 곡선을 비교하여 나타내면 그림 6과 같다. 그림의 우측 하단에는 비교실험체의 정착방법과 철근의 파단위치(●) 및 철근의 상대변위(-)를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 철근의 항복시까지는 유사한 하중-변위 관계를 나타내고 있으며 또한 최대내력도 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 보 철근의 항복 이후에서는 MAB-BOP 공법을 적용한 실험체의 변위량은 90° 후크 정착을 적용한 실험체에 비해 작은 값을 나타냄으로써 MAB-BOP 공법에 의해 보 철근이 완전히 정착되고 있음을 알 수 있다 특히 D22의 철근을 사용한 실험체들에서는, MAB-BOP 공법을 사용한 실험체는 철근의 파단에 의해 실험이 종료된 반면에 90° 후크정착공법을 적용한 실험체는 사진 1에서 보는 바와 같이 90° 후크 부분의 콘크리트가 압괴되면서 철근의 과대 뿔힘에 의해 실험이 종료되었다. 따라서, MAB-BOP 공법은 90° 후크정착 방법과 비교하여 프리캐스트 보 하단철근의 정착시에 최소한 동등 이상의 성능이 있다고 판단된다.

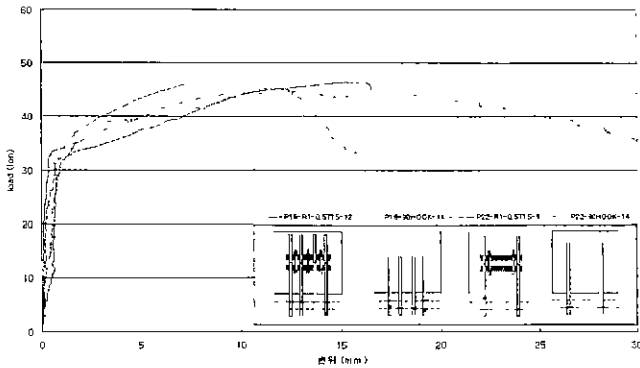


그림 6 정착철근의 정착방법에 대한 비교

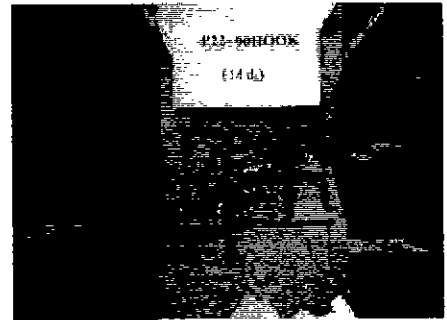


사진 1 P22-90HOOK-14의 정착철근과 콘크리트 내부 내부 파괴현황

4.2.2 지지대의 정착형태

지지대의 정착형태를 변수(90° 후크정착, 지지대 체결볼트형)로 한 실험체들의 하중-변위곡선을 비교하여 나타내면 그림 7과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 철근의 항복시까지의 실험체 4개 모두 유사한 하중-변위곡선을 나타내었지만 최대하중 이후 90° 후크 정착을 사용한 실험체의 철근변위량이 MAB-BOP 공법을 사용한 실험체보다 큰 변위를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 수직부분에 정착철근을 지지한 P16-V1-ANGLE-12 실험체는 사진 2에서 보는 바와 같이 철근인발에 대한 구속효과가 약한 것으로 나타나, 지지대의 구속위치에 따라 철근의 뺄힘에 차이가 있는 것으로 나타났다.

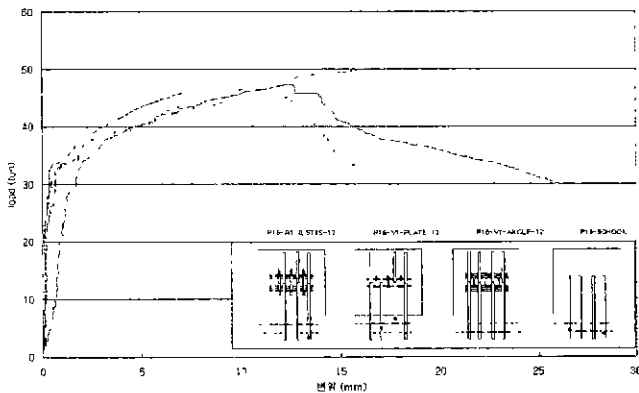


그림 7 지지대의 형태에 대한 비교

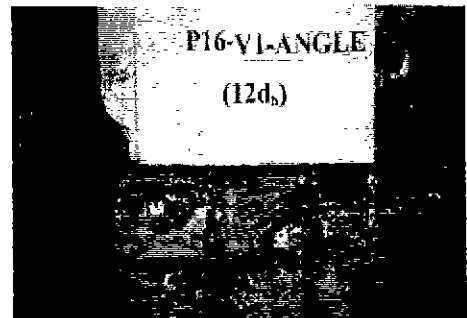
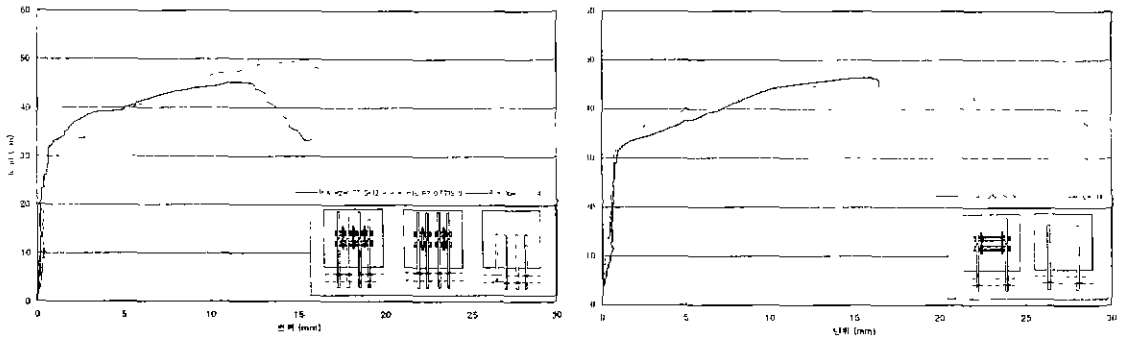


사진 2 P16-V1-ANGLE-12의 정착철근과 콘크리트의 내부 파괴현황

4.2.3 철근의 수평정착길이

철근의 수평정착길이를 변수(14db, 12db, 9db)로 한 실험체들의 하중-변위 곡선을 비교하여 나타내면 그림 11과 같다. 그림 8(a)에서 보는 바와 같이 주근으로서 D16 철근을 사용한 실험체의 하중-변위 곡선을 비교해 보면 철근의 항복까지는 수평정착길이에 따른 거동의 차이를 나타내지 않았으며, 최대강도에서도 상호 유사한 값을 나타내었다. 또한 그림 8(b)의 D22를 사용한 경우도 수평정착길이에 의한 하중 및 변위에는 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서 MAB-BOP 공법을 사용하여 철근을 정착할 경우에는 9db의 수평정착길이도 가능한 것으로 판단된다.



(a) D16을 사용한 경우 (b) D22를 사용한 경우
 그림 8 지지대의 수평 정착길이에 대한 비교

4. 결론

- 1) 정착방법별 정착 내력(90° 후크정착, 지지대 체결볼트형) : 모든 실험체의 정착내력은 현행 국내기준에서 요구하는 정착철근 항복강도의 125%이상의 정착내력을 나타내어 구조내력상 문제가 없는 것으로 나타났다. 따라서, MAB-BOP 공법은 프리캐스트 콘크리트 골조구조에서 보 하단철근의 정착방법으로 적용될 수 있다고 판단된다.
- 2) 지지대 체결볼트형 정착방법 (90° 후크정착, 지지대 체결볼트형) : 90° 후크정착을 사용한 실험체는 정착철근 항복 이후 과다뿔힘이 발생한 반면에 지지대 체결볼트형 정착공법을 적용한 실험체는 정착철근의 항복 이후 과단시까지 철근의 뿔힘이 없이 충분한 정착효과를 나타내었다.
- 3) 지지대의 정착형태 (곡면부 지지, 수직부 지지, 90° 후크정착) : 수직부에 지지대를 설치한 실험체는 곡면부에 지지대를 설치한 실험체에 비하여 정착내력이 다소 부족하지만 90° 후크 정착방법을 적용한 실험체보다 과단시까지 뿔힘량이 작아 90° 후크형 실험체보다 성능이 우수한 것으로 판단된다.
- 5) 지지대의 수평정착길이 (90° 후크정착 ; 14d_b, 12d_b, 9d_b) : 곡면부위에 대하여 지지대를 사용할 경우, 수평정착길이가 9d_b인 실험체가 90° 후크정착공법을 적용한 실험체나 수평정착길이가 12d_b인 실험체에 비해 변위성능 및 내력상에는 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서, MAB-BOP 공법에 있어서 수평정착길이는 9d_b까지 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 프레キャスト콘크리트구조의접합, 望月 重·前田敏雄, 콘크리트工学, Vol. 25, No. 3, 1987, 3
2. 建築におけるプレキャスト化の現状と將來, 中田愼介, 콘크리트工学 Vol. 30, No. 11, 1992, 11
3. Hamad, B. S, Jirsa, J. O., Paulo, I. A., "Anchorage Strength of Epoxy-Coated Hooked Bars," ACI Structural Journal, Vol 90, No. 2, March-April, 1993, pp210~217
4. Altowajji, W. A. K, Darwin, D., Donahey, R. C, "Bond of Reinforcement to Revibrated Concrete," ACI Structural Journal, Vol. 83, No. 6, Nov.-Dec., 1986, pp1035~1042
5. Mor, A, "Steel-Concrete Bond in High-Strength Lightweight Concrete," ACI Material Journal, Vol 89, No. 1, Jan -Feb., 1992, pp76~82
6. Marques, J. L. G, Jirsa, J. O., "A Study of Hooked Bar Anchorage in Beam-Column Joints," ACI Journal, Vol 72, No. 5, May, 1975, pp198~209
7. Minor, J., Jirsa, J. O. "Behavior of Bent Bar Anchorage," ACI Journal, Vol. 72, No. 4, April, 1975, pp141~149