

정착판을 가진 철근(Headed bar)의 구조적 거동과 적용 사례

Structural Behavior and Field Application of Headed Bars



이성호*
Sung-Ho Lee



천성철**
Sung-Chul Chun



오보환***
Bohwan Oh

1. 머리말

철근콘크리트 구조물에서 철근 정착은 철근의 설계 내력 발현과 콘크리트와의 일체 거동을 하는데 있어서 가장 중요한 요소이다. 철근의 정착내력은 철근과 콘크리트 사이의 부착력에 의해 발현되는데, 충분한 직선 정착 길이를 확보하지 못하는 경우에는 철근단부에 갈고리를 두도록 정착 상세를 규정하고 있다^{1~2)}. 그러나, 이러한 갈고리를 적용한 정착상세는 시공적, 구조적 측면에서 문제점이 야기되기도 한다. 먼저 시공적 측면에서는 접합부와 같이 배근이 집중되는 곳이나 대구경 고강도 철근이 필요한 경우 정착길이 확보와 갈고리의 제작 및 배근작업이 어려우며 과밀배근에 의해서 콘크리트의 충전성도 저하될 수 있다. 구조적인 측면에서는 반복하중을 받는 경우 갈고리 부분의 과도한 응력집중으로 콘크리트의 국부적인 지압파괴나 콘크리트와 상대변위가 발생될 우려도 있다. 특히 보-기둥 접합부의 정착부에서 콘크리트와 상대변위가 발생되면 기둥면에서 보 주근의 강체이동(rigid body translation)을 유발하여 반복하중에 대한 에너지 소산능력을 저하시킨다³⁾. 또한 정착부 콘크리트에 손상을 입혀 접합부 전단내력을 저하시킬 수 있다.⁷⁾

이러한 문제점에 대한으로서 정착판을 가진 철근(headed bar)을 사용한 기계적 정착공법이 제안되어졌다^{3~6)}. 기계적 정착을 통해서 갈고리를 사용하지 않을 수 있으며, 정착길이의 축소도 가능하여 철근밀집 부위에 과밀 배근을 해소할 수 있다. 기계적 정착 공법은 주로 일본, 미국, 캐나다를 중심으로 연구 및 실용화가 진행되어왔다^{9~13)}. 최근 국내에서도 이에 대한 인식이 증가하고 있으며, 제품개발 및 실용화 연구도 활발해지고 있다^{9~13)}. 국내규준에서도 기계적 정착 사용을 허용하

고 있으나, 구체적인 설계방법 및 구조 상세에 대한 규정이 없어서 실제 현장 적용이 원활치 않은 문제점이 있다.

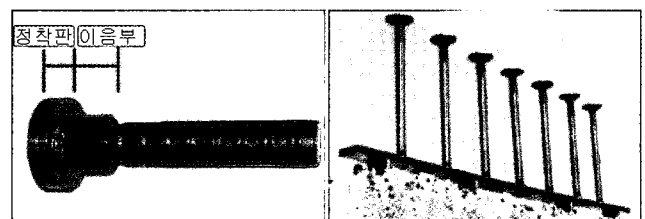
본고에서는 당사에서 수행된 구조 실험을 중심으로 기계적 정착의 거동과 성능에 대하여 적용 부위별로 설명하고, 아울러 국내외의 현장 적용 사례를 소개하고자 한다.

2. 적용부위별 구조적 거동

2.1 압축부재 전단보강근

2.1.1 전단보강근의 역할 및 요구성능

철근콘크리트 기둥에서 전단보강근의 역할은 주로 부재의 전단내력 향상, 압축콘크리트의 횡구속과 압축철근의 좌굴방지 기능을 하는 것이다. 특히 지진지역에서는 그 역할이 중요하게 고려되어지며, 지진하중에 대한 부재의 성능 확보를 위해서 전단보강근의 요구량이 증가되고, 그 상세 또한 엄격하게 규정하고 있다²⁾. 이러한 엄격한 상세 규정이 적용된 다수의 전단보강근은 과밀배근을 야기하게 되고 시공성이 저하되는 문제를 유발하게 된다. 기존의 전단보강근의 경우는 양 끝단에 135°와 90° 갈고리를 두어 정착을 하게 된다. 그러나 고축력 하에서는 90° 갈고리가 밖으로 열리게 되는데, 이 경우에는 주근의 좌굴을 방지하는 역할을 할 수가 없으며 피복의 파괴를 일으키게 되어, 코어 콘크리트를 구속하는 것에 대한 전단보강근의 효율성에 문제가 제기되어 왔다.⁸⁾



a. 주근용

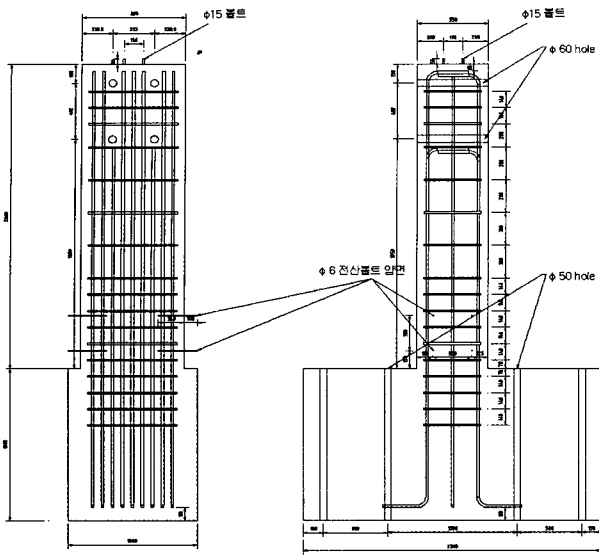
b. 전단보강¹³⁾

그림 1. 정착판을 가진 철근 (headed bar)

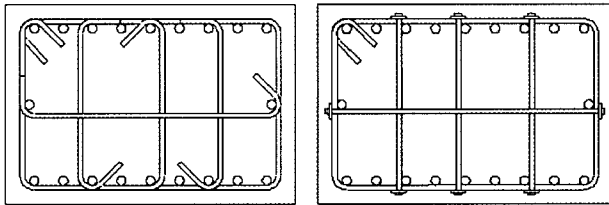
* 정회원, 대우건설 기술연구소 전임연구원
architech@dwconst.co.kr

** 정회원, 대우건설 기술연구소 선임연구원

*** 정회원, 대우건설 기술연구소 수석연구원



a. 실험체 입면 상세



b. 90° -135° 갈고리 정착 단면도 c. 양단 기계적 정착 단면도
그림 2. 실험체 상세도

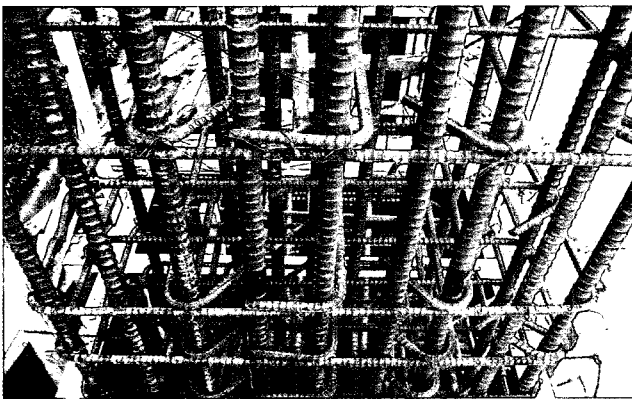


그림 3. 90° -135° 갈고리 정착 배근

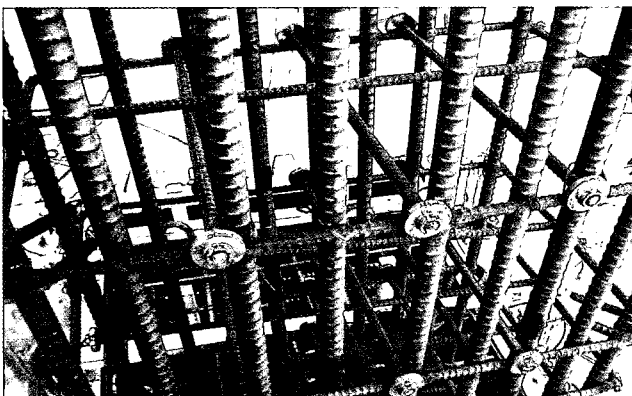


그림 4. 양단 기계적 정착 배근

2.1.2 압축부재 전단보강근의 구조실험

(1) 실험체 구성

앞서 설명한 요구성능에 대한 평가를 위해서 기둥 전단보강근의 기존 갈고리 정착을 기계적 정착으로 대체하여 비교 실험을 수행하였다. 실험은 <그림 2>와 같이 기둥에 압축력을 가하고, 상부에 횡하중을 반복 가력하였다. <그림 3, 4>는 실험체의 전단보강근 배근 상태를 나타내고 있다.

(2) 연성 및 에너지소산 능력

두 실험체의 비교 결과 기계적 정착을 적용한 실험체가 기존의 90°, 135° 갈고리를 적용한 실험체 보다 큰 연성을 지니고 있었으며, 에너지 소산능력 또한 기계적 정착 실험체가 월등한 것으로 나타났다.<그림 5>

(3) 주근 좌굴 억제 효과

<그림 6>과 같이 기존의 90° 갈고리는 피복 콘크리트의 손상이후에 펼쳐짐으로써 압축주근의 좌굴 억제에 크게 기여하지 못 하는 반면, 주근과 후프(hoop) 근을 같이 구속하고 있는 기계적 정착<그림 7>은 압축 주근의 좌굴 길이를 상대적으로 감소시켜 좌굴억제에 효과적으로 기여하였다. 내부 전단보강근(cross-tie)이 후프근과 주근을 같이 구속하고 있는 경우가 압축 주근의 좌굴억제에 보다 효과적이다.

2.2 보-기둥 접합부

2.2.1 보-기둥 접합부의 구조거동

(1) 접합부의 파괴 형태

일반적인 구조실험을 통해서 나타나는 보-기둥 접합부의 파괴는 크게 두 가지 형태로 나타난다. 첫 번째는 보의 휨파괴로 주근이 항복하고, 보가 극한 휨모멘트강도까지 도달하여 연성

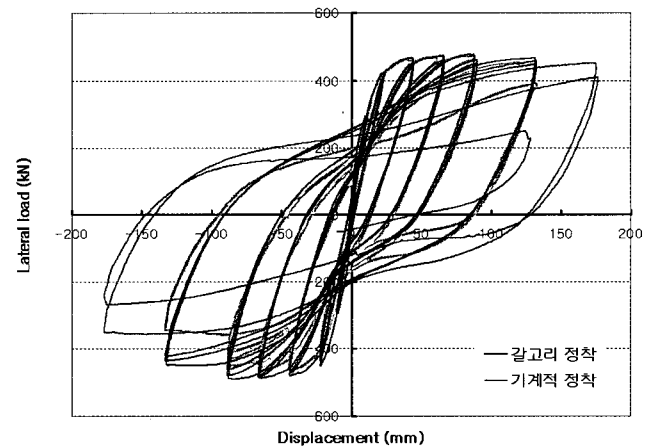


그림 5. 전단보강근 정착 상세에 따른 하중-변위 이력곡선

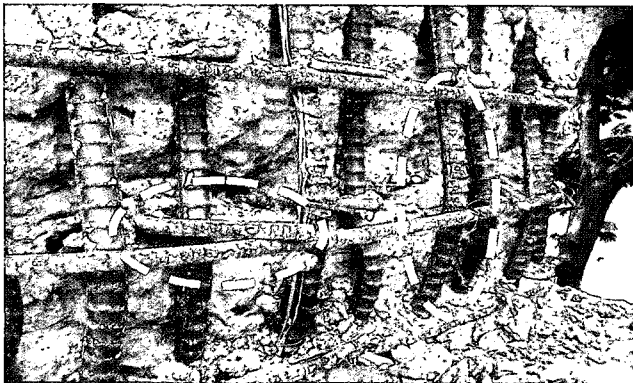


그림 6. 주근 좌굴 (갈고리 정착)

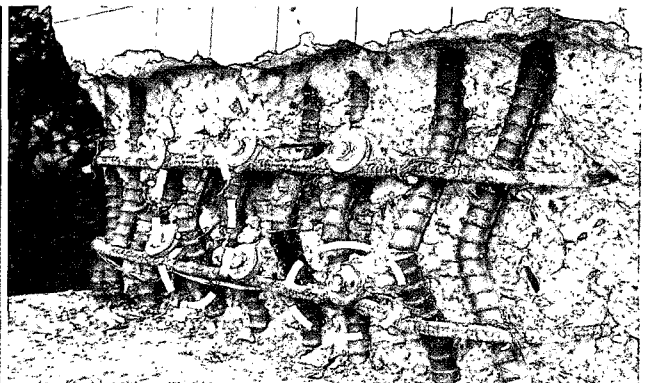
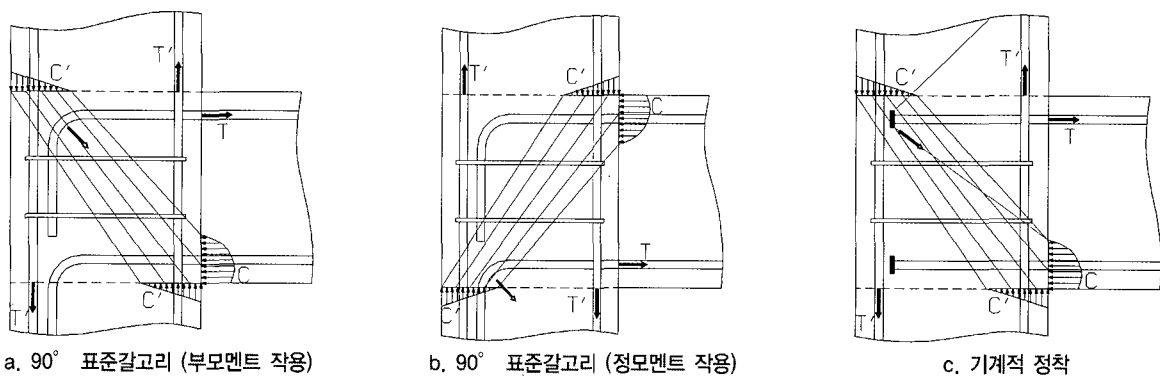


그림 7. 주근 좌굴 (기계적 정착)



a. 90° 표준갈고리 (부모멘트 작용)

b. 90° 표준갈고리 (정모멘트 작용)

c. 기계적 정착

그림 8. 보-기둥 접합부 응력상태

적인 파괴형태를 나타내는 것이다. 다른 형태는 보가 극한 휨 모멘트강도에 도달하기 전에 접합부에 전단균열이 심화되어 접합부가 취성적으로 전단파괴되는 형태이다. 골조 설계시에 고려되어야 하는 파괴 모드는 연성파괴 모드로 접합부에서도 동일하게 적용될 수 있다. 따라서 보에서 충분한 변형을 통하여 소성한지(plastic hinge)가 유도되도록 하여야 한다. 이를 위해서 접합부에 요구되어지는 성능은 다음과 같다. 먼저 보 주근이 항복강도 이상을 발휘하기 위해서는 충분한 정착길이가 확보되어야 한다. 또한 접합부 전단파괴를 막기 위해서 충분한 전단내력이 확보되어야 한다.

(2) 정착 메커니즘

〈그림 8〉은 보-기둥 접합부에서 보 주근 정착 방법에 따른 접합부의 응력상태를 표현한 그림이다. 설계기준에서는 90° 표준갈고리의 치수는 규정하고 있으나, 접합부내 배치방법에 대해서는 구체적으로 정하고 있지 않다. 일반적으로 철근의 정착내력은 갈고리의 배치방법에 무관하게 발휘되나, 갈고리가 접합부 내부로 배치되는 것(〈그림 8(a)〉 참조)이 접합부의 전단내력과 반복하중에 대한 저항능력이 우수하다¹⁵⁾. 즉 접합부에 골조작용(frame action)에 의해 형성되는 콘크리트 스트럿(concrete strut)과 갈고리의 국부지압력의 방향이 일치하여 상호 보완적

인 역할을 수행하게 된다. 그러나 〈그림 8(b)〉과 같이 인장을 받는 보 주근의 갈고리가 접합부 밖으로 형성되는 경우 철근 정착내력은 발휘되지만, 접합부 스트럿을 교란시켜 접합부의 성능을 저하시키게 된다.

기계적 정착의 경우는 〈그림 8(c)〉와 같다. 표준갈고리가 접합부 내부에 배치되는 〈그림 8(a)〉와 같이 접합부 스트럿과 정착력의 방향이 일치하여 상호보완적인 역할을 수행함으로써 접합부의 내력 및 반복하중에 대한 거동특성이 저하되지 않는다.

적절한 정착판을 가지는 경우 기계적 정착의 극한내력(ultimate strength)은 콘크리트 파괴(concrete breakout failure)에 의해 결정될 수 있다. 〈그림 8(c)〉 정착판에서 상하 양방향으로 나타난 선이 극한 상태에서의 가상파괴면이다. 앵커의 순수 인발내력과 달리 접합부에는 압축 스트럿이 존재하고 이로 인해 정착판이 구속된다. 따라서, 기계적 정착부를 압축스트럿 내에 위치시키면 정착내력은 상당히 증가하게 된다.

2.2.2 보-기둥 접합부 실험

(1) 실험체 구성

실험체는 철근콘크리트구조 건물의 상부층 외부 보-기둥 접합부를 대상으로 모델링하였다. 반복적인 횡하중을 받는 경우, 한 층을 기준으로 모멘트가 0인 반곡점이 발생하는 상·하 기

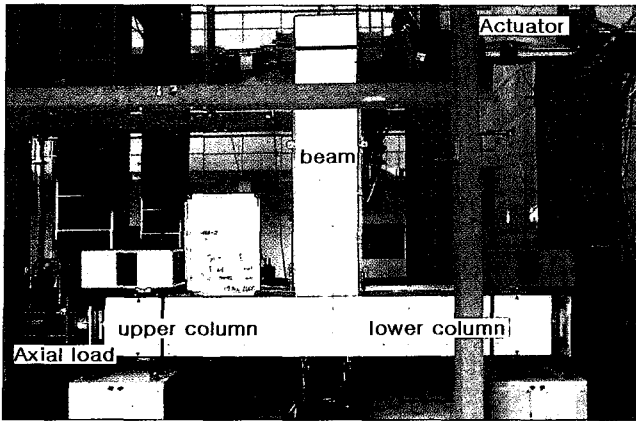


그림 9. 보-기둥 접합부 실험체 가력 장치도

등 가운데 지점과 보의 가운데 지점을 힌지로 모델링하여 T형상의 실험체를 제작하였다(그림 9) 참고). 실험체의 내력 및 상세는 ACI 352에 따라 설계되었다.

실험체는 보의 휨파괴를 유도하였으며, JC-1은 90° 표준 갈고리 정착(conventional anchorage joint), JM-1은 기계적 정착(mechanical anchorage joint)을 이용한 실험체이다.

(2) 거동 특성

두 실험체는, 인장철근 항복 → 압축콘크리트 압괴 → 압축주근 좌굴 → 내려저하의 전형적인 휨거동을 보였다. 휨내력과 강성면에서 기계적 정착을 적용한 실험체는 기존 갈고리를 적용한 실험체와 비교하여 동등 이상의 성능을 나타냈다. <그림 10>에 나타난 것과 같이 기존 갈고리 정착 실험체에 비해 항복 변위의 12배 변형까지도 내력이 저하되지 않는 충분한 연성을 보유하고 있는 것으로 확인되었다.

(3) 접합부 손상

접합부의 균열은 보 파괴영역에 비해 매우 건전하였다. <그림 11>에서와 같이, 두 실험체 모두 접합부는 매우 건전하였고, 동일변위 반복가력에서도 내력 저하가 거의 없고 이력곡선(hysteresis loop)이 매우 안정적으로 핀칭(pinching) 현상이 발생되지 않았다.

(4) 에너지 소산능력

<그림 12>는 에너지 소산능력을 평가하기 위해 실험체 파괴

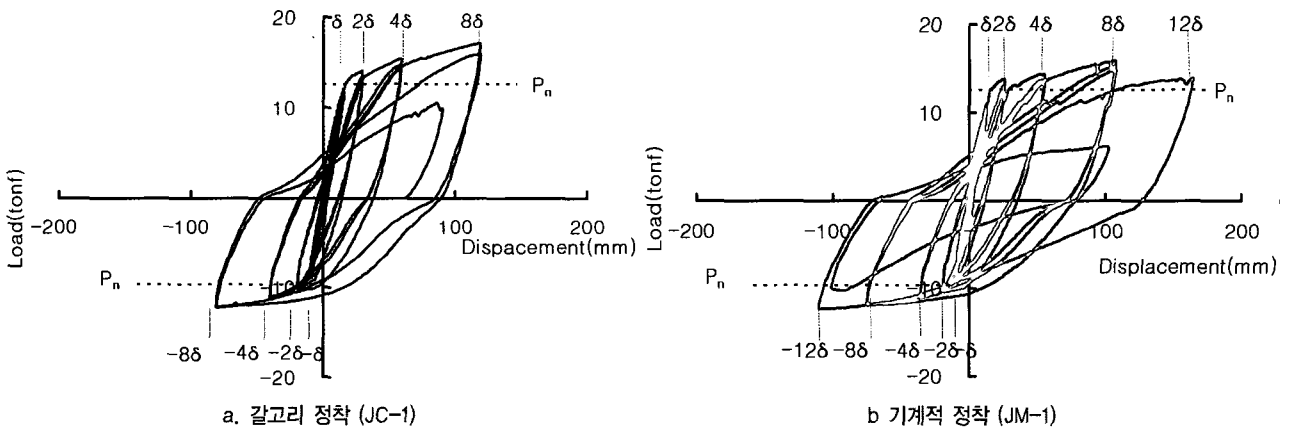


그림 10. 보-기둥 접합부 하중-변위 이력곡선

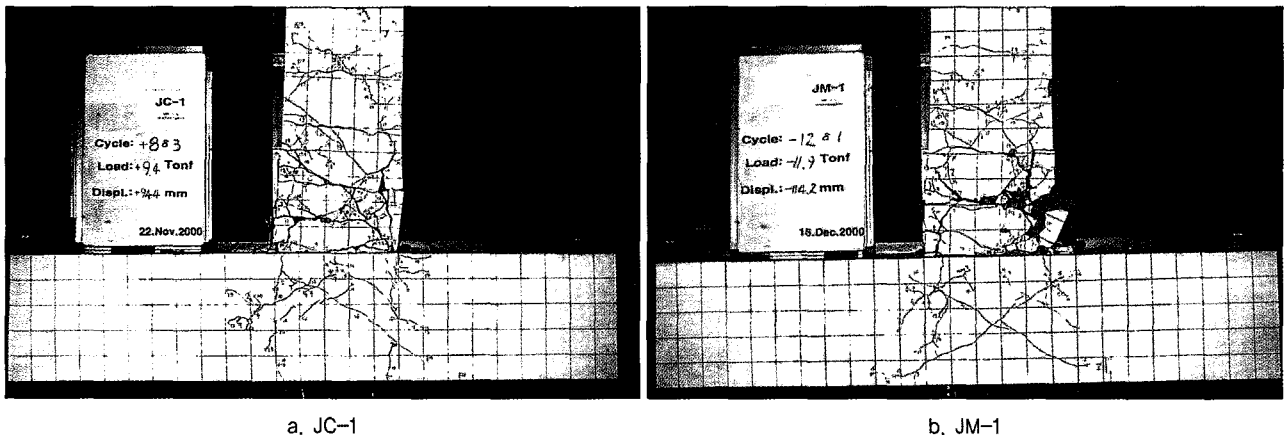


그림 11. 실험체 최종 파단 상태 (JC-1, JM-1)

시까지 누적 외부일(cumulative external work)을 나타낸 것이다. X축은 구조물이 경험한 누적 변위(cumulative displacement)이고 Y축은 하중 변위 곡선의 내부 면적의 누적량으로 누적 외부일을 나타낸다. 항복변위의 8배 변위까지는 두 실험체의 에너지 소산능력이 비슷하지만, JC-1이 JM-1보다 일찍 파괴되어 JM-1이 더 많은 에너지를 소산시켰다.

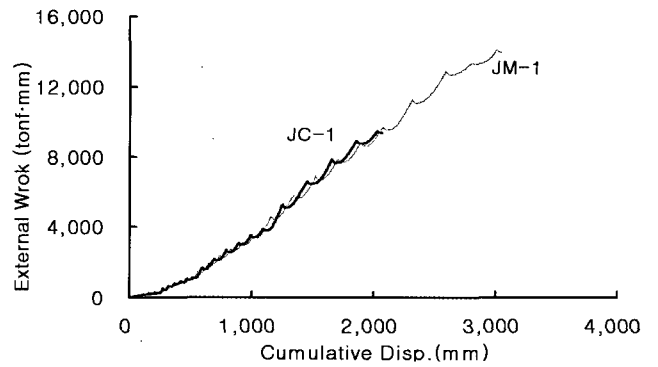


그림 12. 보-기둥 접합부 에너지 소산능력

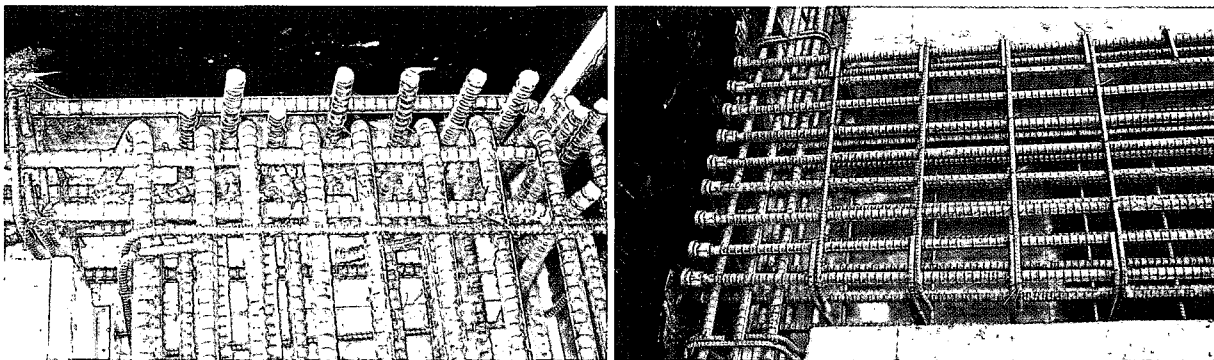
3. 적용사례

3.1 트럼프월드 1차(서울시 영등포구 여의도동)

트럼프월드 1차는 지하 5층 지상 41층 최고높이 132.9m며, 국내 최초의 순수 철근콘크리트조 초고층 주상복합 건물이다. 바닥구조는, 200 mm 높이의 슬래브에 350mm(일부 450 mm) 높이의 넓은 보(wide beam)를 이용하여 기존의 철골구조 또는 철골철근콘크리트구조에 비해 층고(3,000 mm)를 대폭 낮춘 구조물이다. 철근 기계적 정착의 현장적용은 높이가 낮은 데두리 거더에 연결되는 직교방향의 거더/보 철근을 기계적으로 정착함으로써 배근작업을 매우 단순화시키는 효과를 거두었다. <그림 13>은 기계적 정착된 철근의 배근 사진으로, 기 배근된 직교방향 거더 또는 기둥철근 사이로 쉽게 배근되는 것을 알 수 있다.

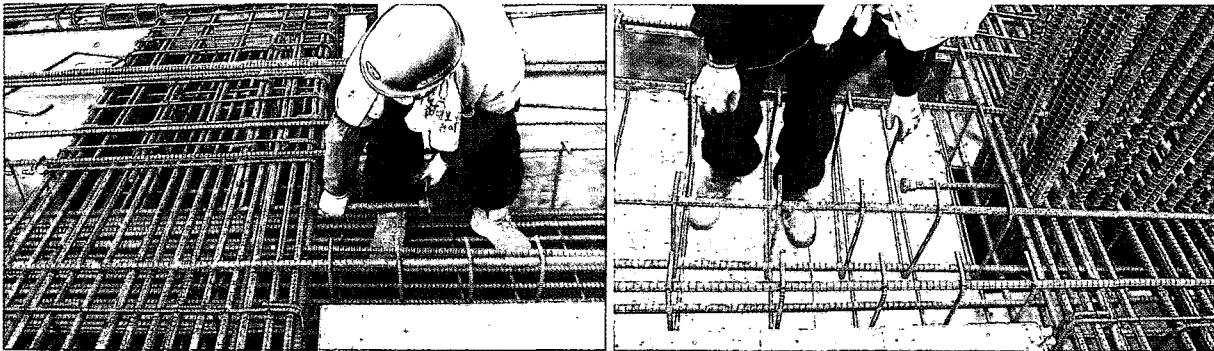
현장 적용 결과 기존 갈고리 정착에 비해 배근작업이 단순화됨을 확인하였다. 특히, 보 높이가 낮은 부재에 표준 갈고리를 설치하기 위해서는 갈고리를 옆으로 누여야 했으나(<그림 13(a)> 참고) 기계적 정착을 통해 손쉽게 배근작업을 수행할 수 있었다.

또한, 인접된 부재 철근이 기 조립된 경우 표준갈고리를 지니는 경우에는 기 조립된 철근 사이를 관통하기 어려웠으나, 기계적 정착을 사용함에 따라 인접 부재 철근의 조립 순서와 무관하게 조립작업을 수행할 수 있었다. 기 배근된 철근 사이를 정착부가 쉽게 통과하기 위해서는 정착판의 형상을 최소화할 필요가 있었다.



a. 갈고리 정착된 접합부

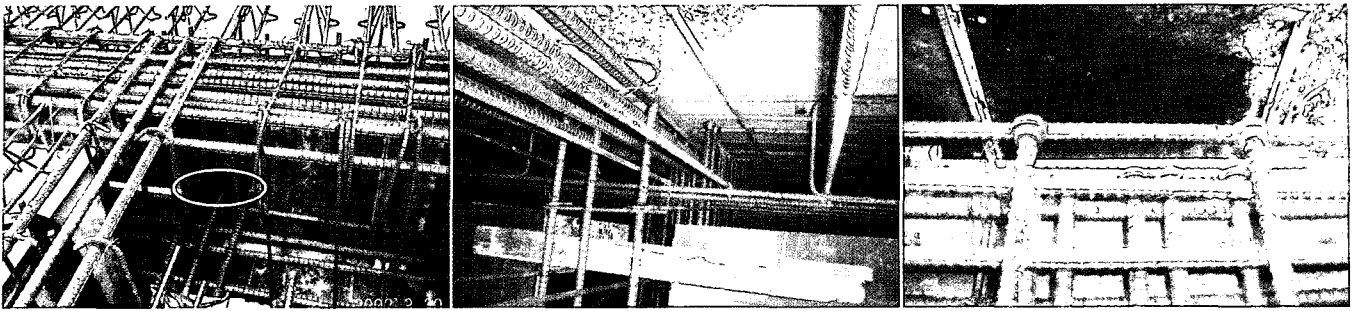
b. 기계적 정착된 접합부



c. 기 배근된 거더 철근 사이 통과

d. 기 배근된 기둥 철근 사이 통과

그림 13. 트럼프월드 1차 현장적용 사진



a. 내부 보가 단절된 경우의 보 주근 기계적 정착 b. 옹벽-거더 접합부의 거더 주근 기계적 정착 c. 내부 거더-보 접합부

그림 14. 디오빌 2차 기계적 정착 적용 사례

3.2 디오빌 2차(서울시 강남구 논현동)

디오빌 2차는 지하 5층 지상 14층의 오피스텔로, 도심지의 소규모 부지에 매우 조밀하게 설계된 건물이다. 본 현장에서는 모든 부재가 최적으로 설계되어 시공여유가 크지 않으며, 특히 지하 옹벽과 거더의 접합부에서 거더 철근이 적절한 정착길이를 확보하기 어려울 것으로 판단되어 기계적 정착을 적용하게 되었다. 적용의 결과로 기 배근된 벽철근 또는 인접 부재 철근과의 간섭없이 보 배근 작업이 가능하여 시공성 향상을 통한 공기단축 효과를 얻었다.

3.3 인천 LNG 저장탱크 #19, 20

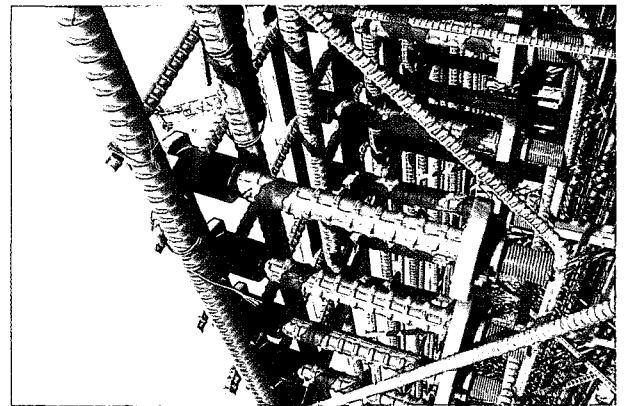
LNG 저장탱크는 원전 격납구조물과 유사한 돔 구조로 이루어지며, 극저온의 LNG를 보관하기 위하여 부재들이 매우 두껍고 콘크리트와 철근은 극저온에 대한 충분한 저항성을 지녀야한다. 본 구조물의 설계는 일본 가시마 건설에서 수행하였으며, 외부 옹벽의 전단보강근으로 사용된 대구경 철근(D41과 D51)을 효과적으로 정착시키기 위해 기계적 정착이 사용되었다.

3.4 대만용문원전 1, 2호기

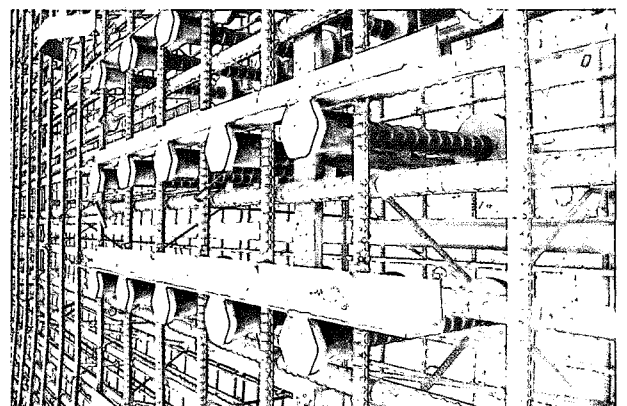
대만용문원전 1, 2호기는 1,350 MW 용량의 개량형 비등수로 원자력 발전소로, 미국 General Electric사에서 설계를 총괄하였으며 건축과 구조설계는 일본 Shimizu 건설에서 실시하였다. 정착장치는 미국 BPI사의 제품이 사용되었고, 주된 적용 부위는 대단면인 매트슬래브와 외부 옹벽의 접합부에서 주근 정착(#18(57 mm), #14(43 mm)), 벽체전단보강근(#5(16 mm) ~ #9(29 mm) 개구부 주변의 주근 정착에도 기계적 정착공법이 적용되었다.

4. 맺음말

기존 갈고리 정착을 대체할 수 있는 기계적 정착에 대해서 구조적인 거동과 현장 적용사례를 중심으로 기술하였다. 기계적 정착은 적용부위에 따라 전단보강근용과 보-기둥 접합부 주근용으로 구분할 수 있으며, 기존 갈고리 정착에 비해 동등 이상의 구조적 성능을 가지는 것으로 나타났다. 또한 다양한 구조물에 적용사례를 통하여 시공성 향상의 효과를 확인하였으

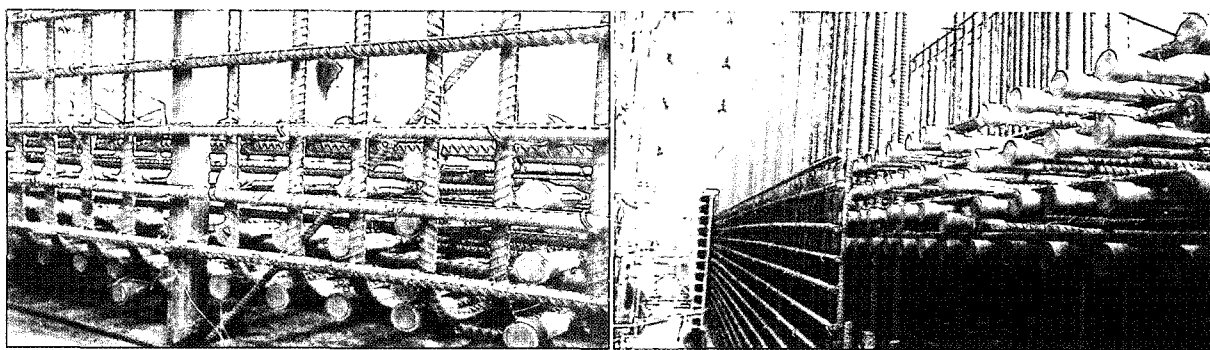


a. 외부옹벽 수평 전단보강근 (1)



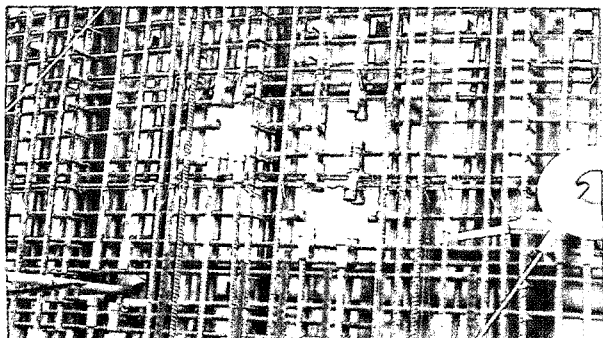
b. 외부옹벽 수평 전단보강근 (2)

그림 15. 인천 LNG 저장탱크 기계적 정착 적용 사례

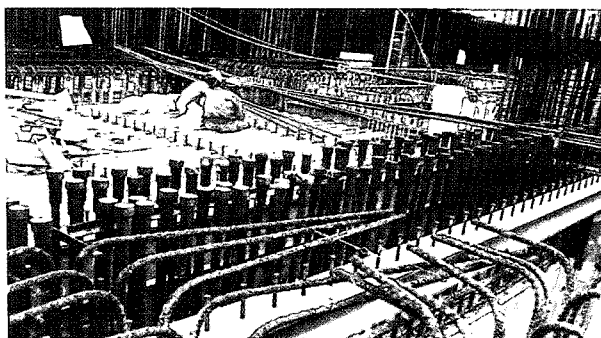


a. 슬래브-벽 접합부 슬래브 주근의 기계적 정착

b. 매트슬래브 주근의 기계적 정착



c. 개구부 주변 철근 정착



d. 벽 철근 최상부 정착

그림 16. 대만 용문원전 기계적 정착 적용 사례

며, D29 이상의 대구경 철근이 적용되는 매트와 보의 철근에 기계적 정착을 적용할 경우 기존 갈고리에 비하여 약 20%의 원가절감 효과가 있다.

향후 재료가 고강도화됨에 따라, 정착길이는 길어지고 부재의 치수는 작아져서 정착부 배근에 어려움이 증가할 것이며, 이에 대한 대안으로 기계적 정착의 활용도도 커질 것으로 전망된다. □

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준 해설", 2004
2. ACI 318-05, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete," ACI, 2005.
3. Amin Ghali and Walter H. Dilger, "Anchoring with Double-Head Studs," Concrete International, Nov. 1998, pp.21~24.
4. Dale E. Berner, Ben C. Gerwick, Jr., and George C. Hoff, "T-Headed Stirrup Bars," Concrete International, May, 1991.
5. 천성철, 정석창, 김대영, 김상구, "철근의 기계적 정착", 콘크리트 학회지, 13권, 1호, 2001년 1월, pp.26~30.
6. D. U. Choi, S. G. Hong, C. Y. Lee, "Test of Headed Rein-

- forcement in Pullout," KCI Concrete Journal, Vol.14, No.3, 2002, pp.102~110.
7. J. Hegger, A. Sherif and Wolfgang Roeser, "Nonseismic Design of Beam-Column Joints," ACI Structural Journal, Vol.100, No.5, Sep.-Oct. 2003. pp.654~664.
8. Samer A. Youakim and Amin Ghali, "Ductility of Concrete Columns with Double-Head Studs," ACI Structural Journal, Vol.99, No.4, Jul.-Aug. 2002. pp.480~487.
9. HRC Headed Bars, <http://www.hrc-usa.com/>
10. Erico, LENTON Terminator, <http://www.erico.com/>
11. 神戸製鋼, ネジコン定着工法の設計・施工要領.
12. 東京鐵鋼株式會社, "プレートナット工法 設計施工指針", 日本建築センター 一般評價 BCJ-C2280, 1999年.
13. Decon, STUDRAILS, <http://www.studrails.com/>
14. Pauly T., "Equilibrium Criteria for Reinforced Concrete Beam-Column Joints," ACI Structural Journal, Vol.86, No.6, Nov.-Dec. 1989. pp.635~643.
15. Paulay T. and Priestley M. J. N., "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings," John Wiley & Sons, 1992, 300pp.