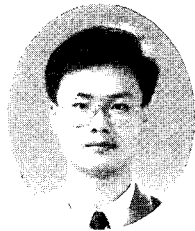
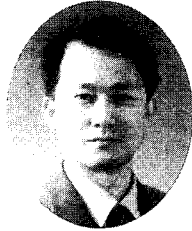


## 철근의 기계적 정착

### - Mechanical Anchorage of Reinforcement in Concrete -



천성철\*



정석창\*\*



김대영\*\*\*



김상구\*\*\*\*

#### 1. 머리말

철근 콘크리트조는 콘크리트와 철근의 특성이 이상적으로 결합된 구조 시스템으로, 철근과 콘크리트의 일체 거동을 기본 전제로 하고 있다. 이를 위해서는 임의의 단면에서 철근에 작용되는 하중에 대하여 충분한 정착 내력을 지녀야 한다. 현행 설계법에서는 최대 인장력이 작용되는 지점에서부터 정착 길이(Development Length)나 갈고리(Hook)를 통해 철근과 콘크리트의 일체 거동을 확보하게 된다.

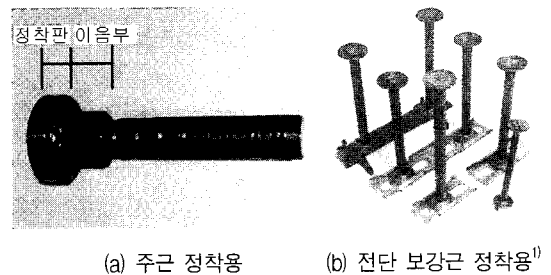
그러나, 철근량이 많은 경우에는 정착을 위한 갈고리나 정착 길이 확보에 많은 어려움이 있으며, 특히 외부 보-기둥 접합부의 경우 보 주근의 갈고리 정착으로 인한 과밀 배근으로 콘크리트 충전성을 저하시켜 구조물의 품질을 떨어뜨리기도 한다.

이러한 정착부의 문제는 전단 보강근에서도 발생하는데, <그림 1(b)>와 같이

135°, 90° 갈고리를 사용하는 경우, 정착부는 좁은 영역에서 과도한 응력이 집중하게 된다. 이로 인해, 갈고리 인쪽의 콘크리트가 국부적인 지압으로 파괴되거나, 갈고리 외부 피복이 박락됨으로써, 전단 보강근의 설계 내력이 제대로 발휘되지 않거나 갈고리에서 멀리 떨어진 곳에서 발휘되며 간혹 슬립이 발생할 우려도 있다.<sup>1)</sup>

정착에 대한 이러한 문제점은 기계적 정착 장치(Mechanical Anchor) 이용하여 해결할 수 있다. <그림 1>, <사진 1>과 같이 철근 단부에 정착 장치를 부착하여 정착을 위한 지압 영역을 형성함으로써 갈고리를 없앨 수 있고 정착 길이를 줄일 수도 있다. 또한 정착부의 과도한 응력 집중을 막아 국부적인 콘크리트의 손상 없이 철근의 설계 내력을 확보할 수 있다.

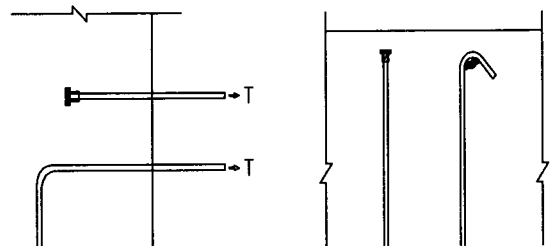
기계적 정착의 적용 가능 범위는 주근의 경우 보-기둥 접합부(외부, 최상부),



(a) 주근 정착용

(b) 전단 보강근 정착용<sup>1)</sup>

사진 1. 기계적 정착 장치



(a) 주근 정착

(b) 전단 보강근 정착

그림 1. 갈고리 정착과 기계적 정착

코벨 및 교각의 주근, 전단 벽 주근 및 깊은 보의 단부 주근 정착 등이 있으며, 특히 프리캐스트 구조 시스템에서 접합부 내 주근 정착에 매우 유용하게 적용될 수 있다.<sup>2)</sup> 전단 보강근에서 <사진 1(b)>와 같이 홈통(trough)으로 선조립하여 시공함

\* 대우건설기술연구소 주임연구원  
 \*\* 부천대학 건축학과 교수  
 \*\*\* 대우건설기술연구소 책임연구원  
 \*\*\*\* 부원 BMS 기술지원팀장

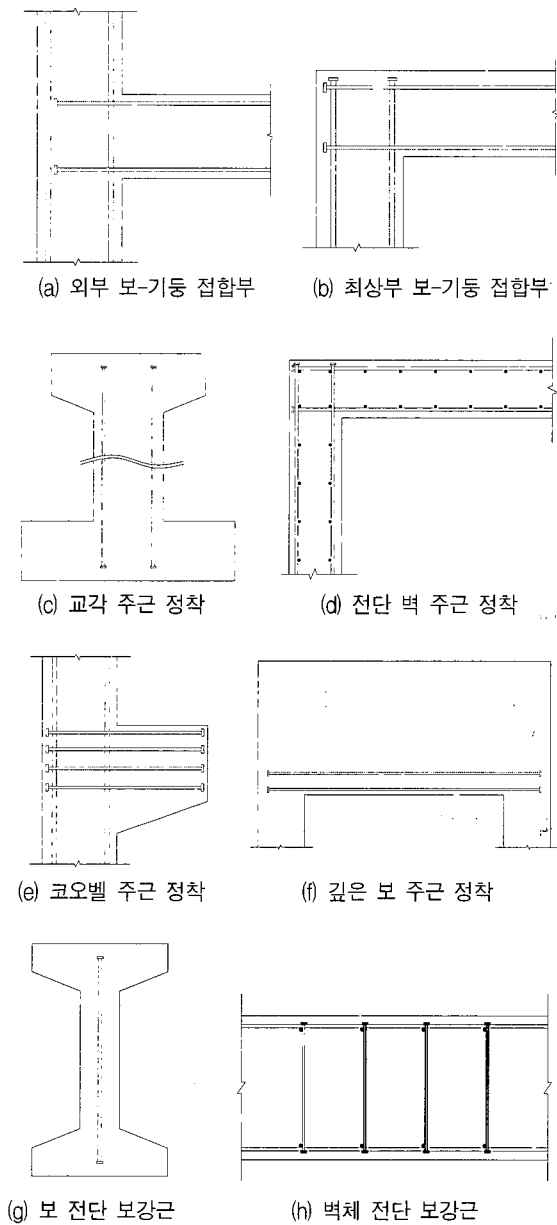


그림 2 기계적 정착 장치의 적용 가능 범위

으로써 공사 효율을 향상시키고 정확한 위치에 정밀 시공이 가능하게 된다. 플랫 플레이트(Flat Plate)의 전단 보강근, 기초 슬래브 및 기초판의 전단 보강근, 보의 전단 보강근, 벽과 기둥의 Crosstie 등에 적용이 가능하다.<sup>1)</sup>

정착 장치가 부착된 철근을 전단 벽의 횡 보강근으로 사용할 경우 시공 효율을 향상시킬 수 있으며, 기존의 Crosstie보다 향상된 횡 구속 효과를 기대할 수 있다. 횡 구속이 필요한 전단 벽에서 Crosstie는 수직 수평근의 좌굴을 방지함으로써 전

의 콘크리트를 구속함으로써 접합부 내력을 향상시키는 역할도 수행하는데, 기계적 정착에 따른 접합부의 거동 및 내력 변화도 함께 고려되어야 한다.

본고에서는 미국과 일본에서 사용되고 있는 기계적 정착의 설계 개념을 소개하고자 한다.

## 2. 정착 설계 개념

### 2.1 철근의 정착

철근의 정착은 철근 표면의 이형 돌기

단 벽의 내력을 향상시키게 되는데, 정착 장치가 부착된 철근은 직접 콘크리트를 횡 구속하여 전단 벽의 성능을 향상시킨다.<sup>3)</sup>

1990년대 중반 이후 미국, 일본 등지에서 기계적 철근 정착에 대한 실험과 연구가 본격적으로 진행되고 있으며, 기존 앵커 볼트의 설계 개념을 확장한 방법으로 설계식을 제안하고 있다. 그러나, 기계적 정착 설계에서는 앵커 볼트와는 달리, 철근간 거리가 매우 좁고 연단 거리가 짧아 순수한 원추형 파괴가 발생되지 않는 점과 정착 철근 주위에 배근된 철근에 의한 보강 및 간섭 효과를 고려해야 한다. 또 실용화를 위해서는, 기계적 정착으로 인한 구조물 전체의 거동 특성도 분석되어야 한다. 보-기둥 접합부에서 갈고리는 보 주근의 정착뿐만 아니라, 접합부(Panel Zone)

(rib)에 의한 부착력에 의해서 확보되거나, 갈고리의 도움에 의해 이루어진다. 현행 설계기준<sup>4),5)</sup>에서 재료 물성(철근 강도, 콘크리트 강도, 철근 코팅 여부)과 철근의 위치(철근 순간격, 피복 두께, 철근 위치)에 따라 소요 정착 길이를 확보하도록 하고 있다.

정착 길이는 철근 강도에 비례하고, 콘크리트 강도의 제곱근(콘크리트 전단 강도)에 반비례한다. 향후 재료가 고강도화됨에 따라, 정착 길이는 길어지고 부재의 치수는 작아져서 정착부 배근에 많은 어려움이 있을 것으로 전망된다.

### 2.2 기계적 정착 메커니즘

기계적 정착 메커니즘은 <그림 3>과 같다. 사용 하중 상태(serviceability limit state)에서는 철근의 표면 부착력( $F_b$ )과 단부 정착 장치의 지압( $F_c$ )에 의해 철근의 설계 내력이 확보된다. 정착부 콘크리트가 파괴되는 극한 상태(ultimate limit state)를 가정하면, 철근에서부터 전달된 지압력과 부착력을 원추형 파괴 면의 응력( $\sigma_s$ )을 통해 지지하게 된다.

$$\begin{aligned}
 T &= A_s f_y = F_b + F_c \\
 &= \int_L \sigma_b dx + \int_A \sigma_c dA \\
 &= \int_{A_c} \sigma_s dA \leq P_n \\
 &\dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

- 여기서,  $\sigma_b$  : 콘크리트 부착 응력  
(bond stress)
- $\sigma_c$  : 지압판의 지압 응력  
(bearing stress)
- $\sigma_s$  : 원추형 파괴 가상면의  
응력(stress)
- $P_n$  : 정착 내력  
(strength of anchor)

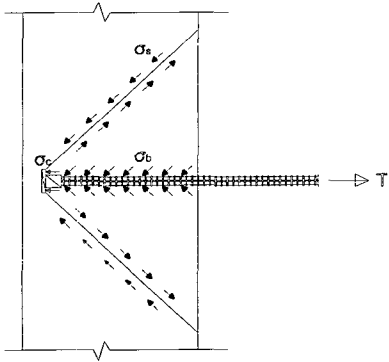


그림 3. 기계적 정착 메커니즘

그런데, 철근의 부착 강도(bond strength)는 콘크리트에 손상이 발생되면 급격히 저하되는 특성이 있다. 극한 강도 설계 개념에서는 철근의 소성 변형을 허용하므로, 항복 하중 이후의 극한 상태에서 정착 시작부의 콘크리트는 철근의 과도한 변형에 의해 부착 강도를 상실할 가능성이 있다. 따라서, 식(1)에서 철근의 부착력은 무시되고, 정착 장치의 지압에 의해서만 힘이 전달된다.

$$T = A_s f_y = F_c = \int_A \sigma_c dA$$

$$= \int_{A_c} \sigma_s dA \leq P_n$$

..... (2)

이러한 기계적 정착 메커니즘에 영향을 주는 주된 요인은 다음과 같다.

(1) 매립 깊이(h)

극한 상태를 콘크리트 원추형 파괴로 가정하므로 파괴 표면적에 비례하여 정착 내력이 증가한다. 파괴 표면적은 매립 깊이의 제곱에 비례하므로, 정착 내력 또한 매립 깊이 제곱에 비례한다.

$$P_n \propto h^2$$

(2) 재료의 강도( $f_{ck}$ )

하중에 해당하는 철근의 인장력은 철근 강도에 비례하고, 내력은 콘크리트의 전단 내력에 의존하므로 콘크리트 강도의 제곱

근에 비례한다.

$$P_n \propto \sqrt{f_{ck}}$$

(3) 보강 철근( $T_s$ )

파괴 면에 걸쳐져서 보강 철근이 존재하는 경우, 내력은 파괴 면의 전단력과 보강 철근 인장력의 조합으로 결정될 수 있다. 이것은 원추형 파괴 면의 위치가 보강 철근의 존재에 관계없이 동일하다고 가정 한 것인데, 실제 파괴 면은 가장 취약한 곳을 따라 발생하므로, 보강 철근의 인장력과 콘크리트 강도비에 따라 가정된 파괴 면보다 좁은 각도로 파괴될 수도 있다.

또한, 보강 철근이 적절한 내력을 발휘하기 위해서는 일정한 변형이 필요한데, 콘크리트의 전단 파괴는 매우 취성적이므로 보강 철근이 내력을 발휘하기 전에 콘크리트 전단 내력이 상실될 수도 있다. 이러한 특성을 고려하여 일본 小西·加藤式<sup>6)</sup>에서는 보강 철근의 인장력만으로 정착 내력을 산정하기도 한다.

$$P_n \propto T_s$$

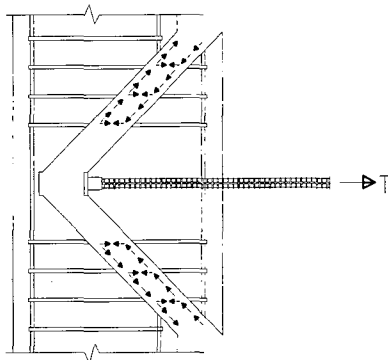


그림 4. 보강 철근의 영향

(4) 철근간의 상호 간섭 및 연단 거리  
철근간 거리가 좁거나, 연단 거리가 짧은 경우에는 개별 철근의 파괴 표면적이 중첩되어 내력이 저하된다. <그림 5>와 같이 기하학적인 원리에 의해 파괴 표면적을 가정함으로써 정확한 정착 내력을 산정할 수 있다.

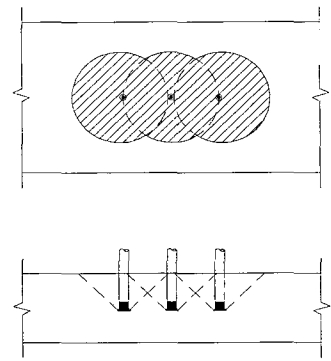


그림 5. 인근 철근간의 간섭 효과

3. 기계적 정착 설계법

3.1 정착 내력 산정

다음은 미국과 일본에서 앵커 볼트나 기계적 정착 내력 산정에 사용되는 각종 설계 식이다.

(1) ACI 349<sup>7)</sup>

ACI 349에서는 정착 장치에서부터 45°의 파괴 면, 즉 원추형(보다 엄밀하게는 원뿔대) 파괴를 가정한다. 이 원추형 표면에 작용되는 응력이 콘크리트 전단 강도를 넘어서면 파괴가 발생된다. 따라서, 표면적과 콘크리트 전단 강도의 곱으로 내력을 평가할 수 있다. 표면적은 수평 투영 면적에 비례하고, 콘크리트 전단 강도는 압축 강도의 제곱근에 비례하므로 정착 내력은 식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$P_n = 1.064 \sqrt{f_{ck}} A_c$$

..... (3)

여기서,

$$A_c = \pi [(2h + d_u)^2 / 4 - d_u^2 / 4]$$

$$= \pi h(h + d_u)$$

: 콘크리트 파괴 면의 투영 면적

h : 매립 깊이

$d_u$  : 정착 장치의 외경

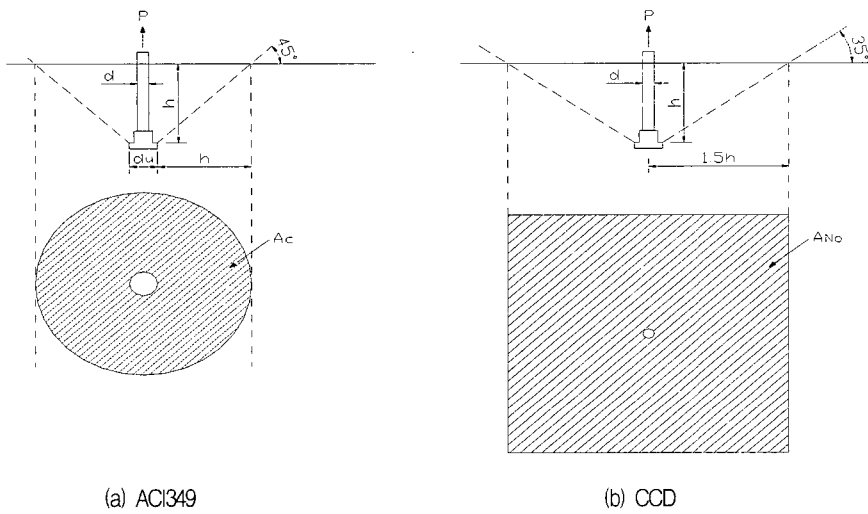


그림 6. 파괴 면의 산정

(2) CCD<sup>8)</sup>

최근에 제안된 설계법으로 향후 ACI 318, 349 code에 반영될 예정이다. ACI 349 설계법과 다른 점은 파괴 면을 원추형이 아닌 사각뿔 형태로 가정하고, 매립 깊이에 따른 치수 효과(Size Effect)를 고려하였다.

$$P_n = k_{nc} \sqrt{f_{ck}} h^{1.5}$$

여기서,  $k_{nc} = 17$  : 콘크리트 타설과 동시에 설치된 정착 장치  
 $k_{nc} = 14.8$  : 콘크리트 경화 후 설치된 정착 장치 또는 콘크리트 지압 응력이 큰 경우  
 $h^{1.5}$  : 단면이 커짐에 따라 전단과 인장 강도가 줄어드는 size effect를 고려하여 매립 깊이의 1.5승에 비례하여 내력이 산정

(3) New RC식<sup>9)</sup>

일본 건설성에서 주관된 New RC PJ에서 제안된 식으로, 일반적인 보-기둥 접합부에 기계적으로 정착된 철근의 내력 산정 식이다. 콘크리트 강도와 횡 보강근 량에 따라 산정되며, 매립 깊이와 정착판의 면적 및 측면 피복 두께에 대한 제한 규정을 두고 있다.

$$P = k \cdot A_b \cdot \sigma_{std}$$

여기서,

$$k = 62.5\rho_w - 0.12\rho_w$$

$$(\sigma_B - 277) + 1 \quad \rho_w \leq 0.4\%$$

$$= 1.25 - 0.0005$$

$$(\sigma_B - 277) \quad \rho_w > 0.4\%$$

: 콘크리트 강도와 횡 보강근 량에 따른 계수

$A_b$  : 정착 철근 단면적

$$\sigma_{std} = 324 \sqrt{f_{ck}}$$

$$(200 \leq f_{ck} \leq 600)$$

: 무보강시의 정착 파괴시 철근 응력도

※ 제한 규정

- 매립 깊이는 부재 단면의 3/4 이상
- $2.7 \leq$  지압 면적비  $\leq 6.0$
- 측면 피복 두께  $\geq 4 d_b$

(4) 神戸製鋼設計<sup>10)</sup>

철근의 표면 부착력( $P_1$ ) 과 지압력( $P_2$ )의 조합으로 내력을 산정한다.

$$P = P_1 + P_2$$

$$= 1.5 \min(1/15 f_{ck}, 9 + 2/75 f_{ck}) \pi d_b h$$

$$P_2 = (B + 3t)^2 f_{ck}$$

여기서, B : 너트의 외경  
 t : 지압판의 두께

(5) 各種合成構造設計指針書<sup>11)</sup>

콘크리트의 원추형 파괴에 기초한 설계 식으로 ACI 349 설계 식과 유사하다.

$$P_n = \sqrt{f_{ck}} A_c$$

(6) 小西・加藤式<sup>6)</sup>

콘크리트의 영향은 무시하고, 원추형 파괴 면에 걸쳐져 있는 보강 철근만으로 정착 내력이 산정된다. 정착 장치의 선단에서 45° 로 가정된 파괴 면에 있는 철근의 인장력이 정착 내력이 된다.

$$P_n = n A_{sh} f_{wy}$$

여기서, n : 콘 파괴 면 상의 횡 보강근 수

$A_{sh}$  : 보강근 단면적

$f_{wy}$  : 횡 보강근 항복 응력도

3.2 기계적 정착 장치 설계

사용 하중에서는 철근의 인장력이 매립 부의 부착력과 정착 장치의 지압력에 의해 저항되지만, 철근이 항복한 극한 상태에서는 정착 시작부에서 부착력이 상실되어 대부분의 하중이 정착 장치의 지압력에 의해서 지지된다. 따라서, 정착 장치는 작용되는 전인장력에 저항할 수 있어야 한다.

(1) 철근과 정착 장치와의 연결

철근의 인장력이 정착 장치에 원활히 전달되기 위해서는 정착 장치가 철근과 일체로 거동할 수 있어야 한다. 즉, 철근 이상의 강도를 확보하고, 연결부에서 슬립이 발생되지 않아야 하며, 모재 이상의 축강성을 확보해야 한다. 또한 반복 하중에 대한 충분한 저항 능력을 갖춰야 한다. 기계

적 철근 이음에 적용되는 나사 이음, 또는 소구경 철근에서는 고전류 마찰 용접으로 연결하기도 한다.

(2) 정착판의 직경, 두께 결정

정착판(bearing plate)은 철근의 인장력을 지압력을 통해 주변 콘크리트로 전달시키는 역할을 한다. 원활한 힘의 전달을 위해서는 정착판이 강체(Rigid Body)로 거동하여 변형이 없어야 하므로, 충분한 휨 강성을 지녀야 한다. 또한 이상적인 파괴 면을 형성하기 위해서는 최소한의 단면적을 확보해야 하는데, 일본 New RC식에서는 철근 단면적의 2.7배 이상의 지압면적을 확보하도록 규정하고 있다.

정착판의 적절한 설계를 위해서는 지압응력의 분포를 정확히 알아야 한다. 유한요소 해석 프로그램을 통해 정착판에 작용되는 응력 분포를 구할 수도 있으나, 해석의 편리를 위해 임의의 응력 분포(등분포, 2차 곡선 분포)로 가정하여 정착판의 응력 상태와 변형량을 검토할 수 있다. 정착 철근의 인장력에 대해 정착 장치가 파괴되어서는 안되며, 정착판 끝단의 변형이 콘크리트에 균열을 유발해서는 안된다.

3.3 압축을 받는 경우

압축력을 받는 철근이나, 반복적인 횡하중을 받는 보-기둥 접합부에서는 압축력에 대한 정착도 고려되어야 한다. 기계적 정착을 압축 철근에 이용할 경우에는 <그림 7>과 같이 정착 장치 배면의 파괴에 유의해야 한다.<sup>12)</sup>

90° 표준 갈고리로 정착된 철근이 압축력을 받는 경우, 갈고리 부분은 유효하지 않으며 직선 부분만으로 압축 정착 길이를 확보해야 한다. 기계적 정착에서도 매립 깊이만으로 압축 정착 길이를 확보하는 것이 이상적이며 이를 만족하지 못하는 경우에는 배면의 지압 내력을 합산하여 정착 내력을 확보해야 한다.

과도한 반복 하중을 받는 경우에는 인장력에 의해 직선부의 부착력이 손상되어

배면의 지압 내력만으로 압축력에 저항할 때도 있다. 이러한 경우 배면의 파괴가 발생되어 구조물의 이력 거동 특성이 나빠질 수도 있다.

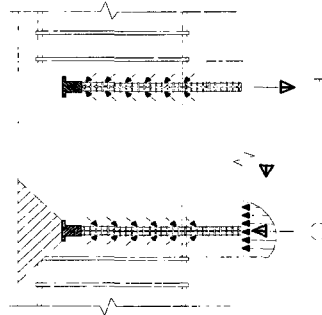


그림 7. 압축력에 의한 Push-out 파괴

4. 맺음말

철근과 콘크리트의 일체 거동을 위해 필수적인 정착 길이나 갈고리는, 그 제작이나 시공이 번거로우며 간혹 구조물의 품질을 저하시키는 요인이 되기도 한다. 이러한 철근 정착의 문제점을 해결하기 위한 방법으로 철근 단부에 지압판을 설치한 기계적 정착 장치가 개발되고 있다. 기계적 정착 장치는 철근 가공량을 줄이고 설치 작업이 간편하며 구조적 거동 또한 우수한 것으로 알려지고 있다.

그러나, 거동 특성에 대한 역학적 해석과 설계 개념이 아직 명확하지 않으며, 특히 국내에서는 연구 사례가 매우 미흡한 실정이다. 대우건설기술연구소에서는 기계적 정착 장치의 국산화 및 실용화를 위하여 정착 장치 개발과 설계법 마련, 그리고 정착 장치가 적용된 구조물의 거동 특성에 대한 연구가 진행 중이다. 주된 내용으로는 정착판 단체 실험 및 해석, 강도/매립 깊이/연단 거리/보강근을 변수로 한 Pull-out 실험과 보-기둥 접합부 실험이다. 또한 실제 구조물에 대한 적용도 추진 중에 있다. 이러한 연구 결과는 향후 콘크리트 구조물의 품질과 시공성을 향상시킬

것으로 기대된다. □

참고문헌

1. Amin Ghali and Walter H. Dilger, "Anchoring with Double-Head Studs", Concrete International, Nov. 1998, pp. 21-24.
2. 철근콘크리트 건축물의 공장생산 및 현장조립 기술 개발, 한국건설기술연구원, 1999, 12.
3. M. Haroun, G. Pardoen, H. Bhatia, S. Shahi, and R. Kazanjy, "Structural Behavior of Repaired Pier Walls", ACI Structural Journal, V. 97, No. 2, Mar.-Apr. 2000, pp. 259-267.
4. "콘크리트구조설계기준", 한국콘크리트학회, 1999.
5. ACI 318-99, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete".
6. 小西・加藤ほか "特殊定着金物を用いた RC 造梁主鉄筋定着法に 關する 實驗的研究, コンクリート工學年次論文報告集, 1995, pp. 73-94.
7. ACI 349-97 "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures" Appendix B-Steel embeddings.
8. Werner Fuchs, Rolf Eligehausen, and John E. Breen, "Concrete Capacity Design(CCD) Approach for Fastening to Concrete", ACI Structural Journal, Vol. 92, No. 1, Jan.-Feb.1995, pp. 73-94.
9. 附着・定着WG研究成果報告書, New RC 高強度分科會, 1993.
10. ネジコン 定着工法の 設計・施工要領, 神戸製鋼.
11. 日本建築學會, 各種合成構造設計指針書 同解説.
12. John W. Wallace, Scott W. McConnell, Pius Gupta, and Paul A. Cote, "Use of Headed Reinforcement in Beam-Column Joints Subjected to Earthquake Loads", ACI Structural Journal, Vol. 95, No. 5 Sep.-Oct. 1998, pp. 590-606.
13. 홍성걸, "트러스 모델과 철근정착기구의 개발", 콘크리트학회지, 제10권 1호, 1998, 2, pp. 4-9.