

헬릭스(HELIX) 전단보강공법의 설계 및 시공



류 승 일 대표이사
옥타콘엔지니어링



박 대 영 소장
옥타콘엔지니어링 기술연구소



이 태 권 과장
옥타콘엔지니어링 기술연구소

1. 머리말

무량판 슬래브(Flat Plate)의 철근배근은 보(Girder)가 없는 구조이기 때문에 슬래브와 기둥이 만나는 기둥주변 슬래브는 구조적으로 뚫림전단(punching shear)에 취약한 부분이므로 전단보강이 필수적이다.

슬래브 전단보강은 폐쇄형 스테럽(Stirrup)으로 시공하는 것이 일반적인 방법이지만 구조설계기준의 정착요건을 만족시키기 위해 전단보강근이 휨철근을 완전히 감싸도록 시공해야 하므로 시공이 까다로울 뿐만 아니라 작업시간이 길어지는 단점이 있다.

이에 대한 개선방법으로 도입된 것이 삽입형 전단보강 방법이다. 이 방법은 전단보강재를 슬래브 철근사이에 간단히 설치할 수 있도록 함으로서 슬래브 전단보강작업에 소요되는 시간단축과 시공품질을 확보할 수 있는 장점이 있다.

2003년 포스코건설에서 공사를 시작한 해운대 우동 아텔리스[그림 2] 주상복합 골조공사에서 공기단축을 목적으로 국내 최초 개발한 삽입형 전단보강 스테드스트립(STUDSTRIP) 공법[그림 3]을 적용한 바 있으며, 기준층 골조공사 기간을 단축시키는데 기여하였다.

스테드스트립(STUDSTRIP)공법은 미국 스테드레일(Studrail)공법을 근간으로 국내 자재 수급 실정을 고려하여 독자적으로 개발, 국산화 한 것으로 2004년 말 상용화 하였으며, 해운대 우동 아텔리스 신축공사에 처음 사용된 이후 현재

폐쇄형 스테럽(Stirrup)의 시공방법

◆ACI 318-08

11.11.3.4 Slab shear reinforcement shall satisfy anchorage requirements of 12.13 and shall engage the longitudinal flexural reinforcement in direction being considered.

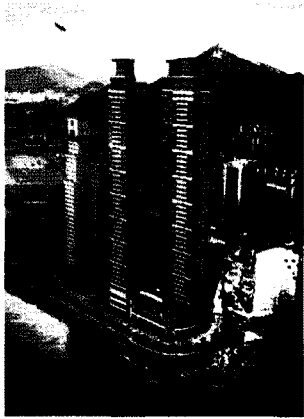
◆KCI-07

(5) 슬래브 전단철근은 8.5에서 제시하는 정착요건을 만족시켜야 하며, 길이방향 휨철근을 둘러싸야 한다.

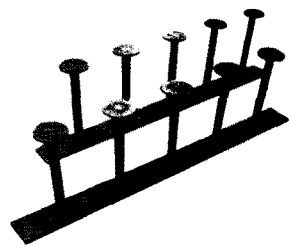
기준에 따른 시공	
잘못된 시공	

[그림 1] 폐쇄형 스테럽(Stirrup)의 시공방법

까지 다수의 초고층 주상복합 및 기둥식 아파트에 사용되었다.

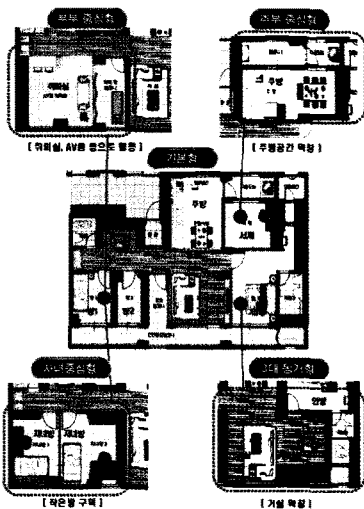


[그림 2] 해운대 우동 아엘리스(포스코건설)

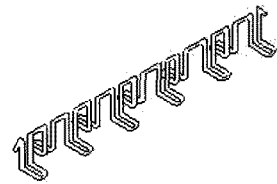


[그림 3] 스타드스트립(STUDSTRIP)

이 시기에 LH공사(한국토지주택공사)에서 연구를 시작한 100년형 장수명 아파트의 구조형식으로 무량복합구조[그림 4]를 채택하면서 무량판 기동식 아파트 연구가 활발히 진행되었다. 연구결과 180~210mm의 얇은 슬래브에 폐쇄형 스타립(Stirrup)으로 시공할 경우 시공이 어렵고, 시공품질 확보가 곤란한 것으로 파악되었다. 이 문제를 해결하기 위하여 시공 및 품질확보가 용이한 철근절곡형 전단보강, 시어밴드(Shear Band)형 전단보강 및 철근 트리스형 전단보강 등 다양한 형태의 전단보강재가 개발되었다.[그림 5]



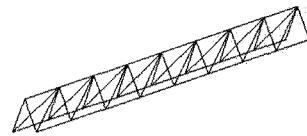
[그림 4] 무량복합구조 아파트 평면도(LH공사)



철근 절곡형 전단보강재



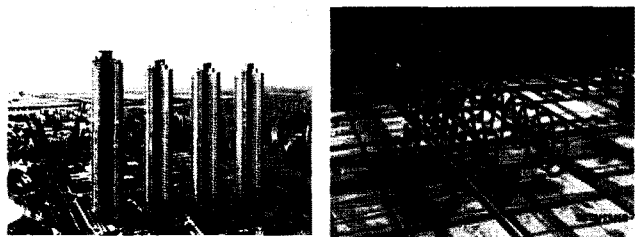
시어 밴드(Shear Band)형 전단보강재



철근 트리스형 전단보강재

[그림 5] 전단 보강재 형태

국내에서 가장 먼저 상용화하여 보급을 시작한 시어헤드(Shear Headed)형 전단보강 스타드스트립(STUDSTRIP)공법은 시공성이 뛰어나 가장 많은 시공실적을 가지고 있으나 시어헤드 제작에 사용되는 소재의 특수성으로 인하여 공급가격이 고가인 단점이 있다. 이를 해결하고자 개발한 것이 나선형전단보강 힐릭스(HELIX) 공법이다. 2010년 초 상용화에 성공하였고, 청라 레이크파크[그림 6] 신축공사에 시범 적용하여 경제성과 시공성에 대해 우수한 평가를 받았다.



[그림 6] 청라 레이크파크(포스코건설)

그리고 2010년 10월 한국건축구조기술사회로부터 힐릭스(HELIX) 공법의 구조안전성에 대한 검증을 마치고 기술인증을 받음으로써 구조안전성, 경제성 및 시공편의성 등에 대한 객관적인 평가결과를 확보하였다.

2. 건축구조기준의 슬래브전단 요구사항

2.1 중력하중 저항시스템

(1) 보가 없는 2방향 슬래브의 슬래브-기둥 접합부에 대해

서는 다음의 두 조건 중 하나를 만족하지 않는 한 KBC 2009 0507.12.3의 요구조건을 만족하고 $0.3\sqrt{f_{ck}}b_0d$ 보다 작지 않는 V_u 값을 제공할 수 있는 전단보강근이 받침부로부터 적어도 슬래브 두께의 4배 이상의 거리까지 보강되어야 한다.

- ① 설계전단력 V_{ug} 와 설계변위 하에서 슬래브-기둥 접합부 사이에 전달된 모멘트($\gamma_v \cdot M_u$)를 고려한 KBC 2009 0507.13의 요구조건
- ② 설계충간변위비가 0.005와 $(0.0035-0.05(V_{ug}/\phi V_c))$ 중 큰 값을 넘지 않는 경우

(2) 2방향으로 거동하는 슬래브의 전단설계는 KBC 2009 0507.2의 규정에 근거 하여야 하며, 콘크리트에 의한 전단강도 V_c 는 0507.12.2(2)에 따라 구하고 전단철근에 의한 전단강도 V_s 는 0507.12.3에 따라 구한다.

(3) 연직하중, 풍하중, 지진하중 또는 기타 횡하중이 슬래브와 기둥 사이에서 휨모멘트의 전달을 야기시킬 때는 불균형모멘트의 일부($\gamma_v \cdot M_u$)가 전단편심에 의해 전달되어야 하며, 전단편심에 의해 전달되지 않은 불균형모멘트($\gamma_v \cdot M_u$)는 휨에 의해 전달되어야 한다.

(4) 슬래브-기둥 접합부가 1.5% 충간변위의 충분한 변형 능력을 보유하기 위해서는 중력하중으로 인한 수직 전단력의 크기가 40% 이내가 되도록 제한하여야 한다.

(참조) ACI 318-08에서는 1989년에 발표된 Pan & Moehle의 연구 결과를 근거로 슬래브-기둥 접합부가 1.5% 충간변위의 충분한 변형 능력을 보유하기 위해서는 중력하중으로 인한 수직전단력의 크기가 40% 이내가 되도록 제한하여야 한다고 제시하고 있다.

$$*V_u(Direct\ Shear) \leq 0.4\phi V_c$$

(5) 2방향 슬래브에서의 전단보강근은 다음과 같은 형태로 구성될 수 있다.

- ① 스티럽의 형태로서 철근 또는 철선으로 구성된 전단보강근
- ② 전단머리보강
- ③ 헤드스티드(Headed Shear Stud) 또는 시어밴드(Shear Band)
- ④ 기타 실험과 해석을 통하여 상기 보강방법과 동등 이상의 전단보강 효과가 있는 것으로 검증된 보강방법

2.2 횡력저항시스템

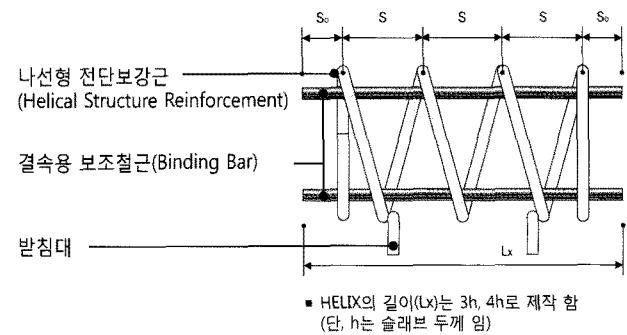
0507.12.1(3)에서 정의된 슬래브-기둥 접합부의 위험단면에서 계수 중력하중으로 인한 2방향 전단력은 $0.4\phi V_c$ 를 넘지 않아야 한다. 여기서, V_c 는 0507.12.2(2)의 규정에 따라 계산된다. 만약, 최대응력점에서 0507.13.1에 의한 전단편심에 의해 전달되는 지진하중으로 인한 계수 2방향 전단응력의 기여도가 식 (0507.13.3)에서 정의된 응력 ϕv_n 의 1/2을 넘지 않는다면 이 규정을 따르지 않아도 좋다.

⇒ 접합부의 편칭방지 및 연성확보를 위해 계수중력하중에 의한 2방향 전단력 제한 값

$$:V_{u(Direct\ Shear)} \leq 0.4\phi V_c$$

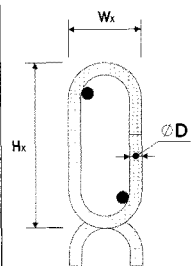
3. 힐릭스(HELIX)에 의한 전단설계

3.1 힐릭스(HELIX)의 구성 및 규격



[그림 7] 힐릭스(HELIX)의 구성

호칭	지름 (D)	단면적	Wx	min. Hx
W8	8	50.3	48	120
W10	10	78.5	60	120
W13	13	132.7	78	150



[그림 8] 힐릭스(HELIX)의 규격 (단위 : mm, mm²)

3.2 힐릭스(HELIX) 설계절차

(1) 기둥면에서 떨어진 위험단면에서의 v_u 와 v_n 을 계산한다.

$$① v_u = \frac{V_u}{A_c} \pm \frac{\gamma_{vx} M_{ux} \left(\frac{l_{y1}}{2}\right)}{J_x} \pm \frac{\gamma_{vy} M_{uy} \left(\frac{l_{x1}}{2}\right)}{J_y}$$

$$② v_c = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \sqrt{f_{ck}} \text{ (SI unit)}$$

$$v_c = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{\alpha_s d}{2b_0}\right) \sqrt{f_{ck}} \text{ (SI unit)}$$

$$v_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_{ck}} \text{ (SI unit)}$$

이 중 최소값을 v_c 로 한다.

* $v_u \leq \phi v_c$ 이면 전단보강 불필요,

단, ϕ 는 KBC2009 적용(1.2D+1.6L) : 0.75

(2) $\phi v_c \leq v_u \leq \phi v_{max} = 0.5\phi \sqrt{f_{ck}}$ 이면,
전단보강 필요.

$$\phi v_n = \phi(v_c + v_s) \dots \dots v_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}}$$

$$v_s = \frac{A_v f_y (\sin\theta + \cos\theta)}{b_0 s}$$

(3) 아래 제한범위 내에서 힐릭스(HELIX)의 간격 s , s_0 선정:

$$s \leq 0.5d, \quad s_0 \leq 0.25d$$

(4) 다음 식에 의하여 위험단면에 필요한 힐릭스(HELIX)의 단면적 선정:

$$A_v \geq \frac{v_s b_0 s}{f_y (\sin\theta + \cos\theta)}$$

여기서, $v_s = \frac{v_u}{\phi} - v_c$

$$v_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}}, \quad s \leq 0.5d$$

$b_0 = 2(l_{x1} + l_{y1})$: 내부기둥

$= 2l_{x1} + l_{y1}$: 외부기둥

$= l_{x1} + l_{y1}$: 모서리기둥

θ = 경사스터럽과 부재축 사이의 각도

(5) 기둥면에서 ad 거리 떨어진 위치의 전단응력이

$v_u \leq \frac{1}{6} \phi \sqrt{f_{ck}}$ 가 될 때 까지 1단계부터 반복한다 :

$$ad = s_0 + (n-1)s + d/2$$

(6) 힐릭스(HELIX)의 배치상세 요구사항 :

① 기둥의 모서리부터 힐릭스(HELIX)를 우선 배치

② 힐릭스(HELIX)의 간격 s 는 2를 초과할 수 없다.

$$\Rightarrow g \leq 2d$$

여기서, g 는 힐릭스(HELIX)의 중심간 거리

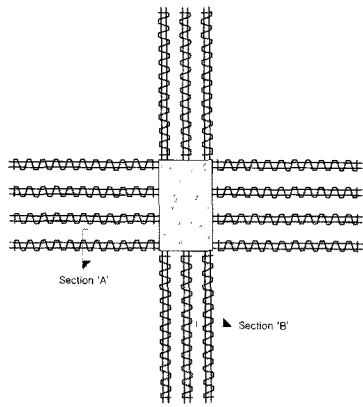
(참고)스터럽(Stirrup)과 힐릭스(HELIX)의 설계 절차

구분	스터럽(Stirrup)공법	힐릭스(HELIX)공법
설계 하중	구조계산에 의한 하중조합으로 설계값을 구한다.	
설계 절차	(1) 기둥면에서 $d/2$ 떨어진 위험 단면에서의 V_u 와 V_n 을 계산한다. $\textcircled{1} v_u = \frac{V_u}{A_c} \pm \frac{\gamma_{vx} \cdot M_{ux} \cdot \left(\frac{l_{y1}}{2}\right)}{J_x} \pm \frac{\gamma_{vy} \cdot M_{uy} \cdot \left(\frac{l_{x1}}{2}\right)}{J_y}$ $\textcircled{2} v_c = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \sqrt{f_{ck}}$ $v_c = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{\alpha_s d}{2b_0}\right) \sqrt{f_{ck}}$ $v_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_{ck}}$ 이 중 최소값을 v_{c1} 으로 한다. ■ $v_u \leq \phi v_{c1}$ 이면 전단보강 불필요, 단 ϕ 는 KBC2009 적용(1.2D+1.6L) : 0.75	

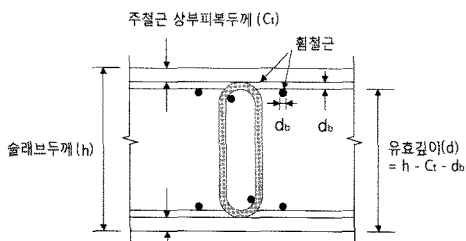
구분	스터럽(Stirrup)공법	힐릭스(HELIX)공법
설계 하중	(2) $\phi v_{c1} \leq v_u \leq \phi v_{max}$ 이면 전단보강 필요 $\phi v_{max} = 0.5\phi \sqrt{f_{ck}}$ $\phi v_n = \phi(v_{c2} + v_s)$ 여기서, $v_{c2} = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}}$, $v_{c2} = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}}$, $v_s = \frac{A_v \cdot f_{yv}}{b_0 \cdot s}$ $v_s = \frac{A_v \cdot f_{yv} (\sin\theta + \cos\theta)}{b_0 \cdot s}$ θ : 전단보강근 경사각 ■ 슬래브-기둥 접합부에 연성상세 설계가 요구되는 경우에 검토할 항목 : $0.4\phi v_c \geq v_u \text{ (Direct Shear)}$	
설계 절차	(3) 아래 제한범위 내에서 전단보강근의 간격 s_0 , s 를 선정한다. $s \leq 0.5d \quad \left \quad s \leq 0.5d \right.$ $s_0 \leq 0.5d \quad \left \quad s_0 \leq 0.25d \right.$ (4) 다음 식에 의하여 기둥주위의 전단검토에 필요한 전단보강근의 단면적을 선정한다. $A_v \geq \frac{v_s \cdot b_0 \cdot s}{f_{yv}} \quad \left \quad A_v \geq \frac{v_s \cdot b_0 \cdot s}{f_{yv} (\sin\theta + \cos\theta)} \right.$ θ : 전단보강근 경사각 (5) (4)에서 구한 A_v 를 만족하도록 전단보강재를 배치한다. (6) 전단보강구간에서 $d/2$ 떨어진 위험 단면에서의 전단응력, $v_u \leq \frac{1}{6} \phi \sqrt{f_{ck}}$ 가 될 때까지 전단보강구간을 s 만큼씩 증가시켜 (1)단계부터 반복한다.	

4. 힐릭스(HELIX) 전단보강 배치상세

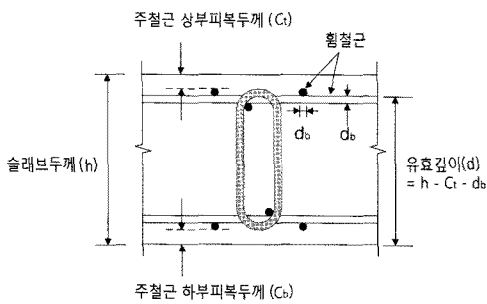
4.1 힐릭스(HELIX)의 시공 상세



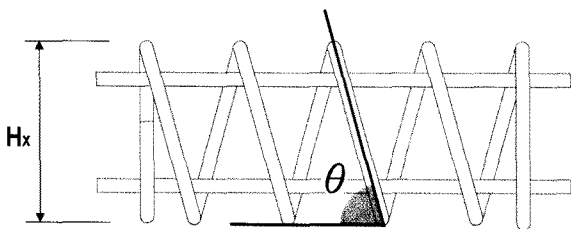
[힐릭스(HELIX)의 배치도]



[Section 'A']



[Section 'B']



[제품높이(Hx)에 따른 경사각(theta)]

[그림9] 힐릭스(HELIX)의 시공단면

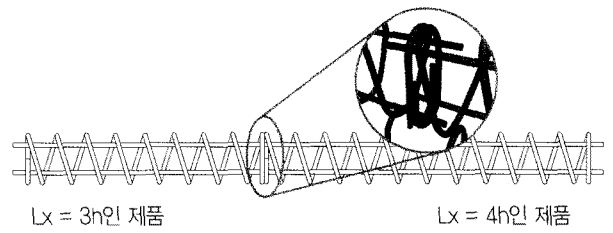
4.2 힐릭스(HELIX)의 전단보강 구간 연장방법

$3h + 3h = 6h$,

$3h + 4h = 7h$,

$4h + 4h = 8h$ 등 3h와 4h로 조합 가능.

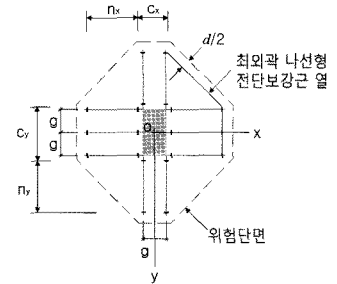
(단, h는 슬래브 두께임)



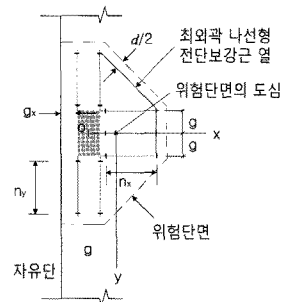
[그림 10] 3h+4h 연결 예

4.3 기둥위치에 따른 힐릭스(HELIX)의 배치상세

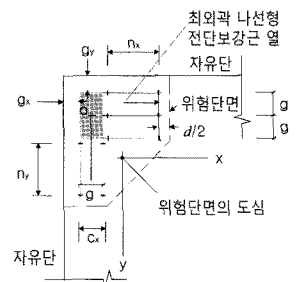
내부기둥



외부기둥



모서리기둥



[그림 11] 힐릭스(HELIX)의 배치 상세도

1. 기둥의 모서리부터 힐릭스(HELIX)를 우선 배치한다.
2. 힐릭스(HELIX)의 중심간 거리(g)는 2d를 초과할 수 없다.

Cx, Cy: 기둥의 폭 (단위: mm)

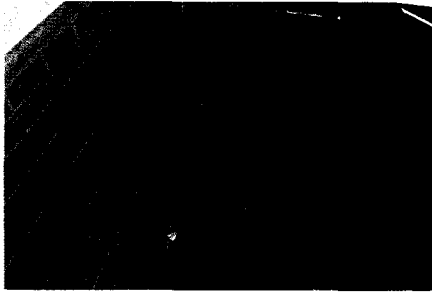
gx, gy: 기둥면으로부터 각 x, y 방향 슬래브 끝단까지의 거리

d: 슬래브 유효두께(effective depth)

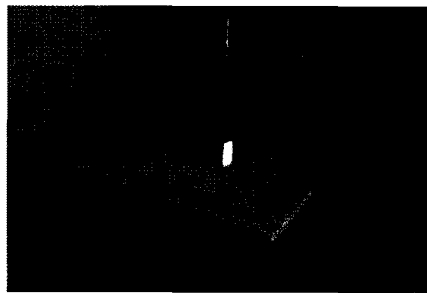
g: 힐릭스(HELIX)의 중심간 거리

5. 힐릭스(HELIX) 구조성능 검증

5.1. 개요



[실험체 제작과정: 힐릭스(HELIX) 설치]

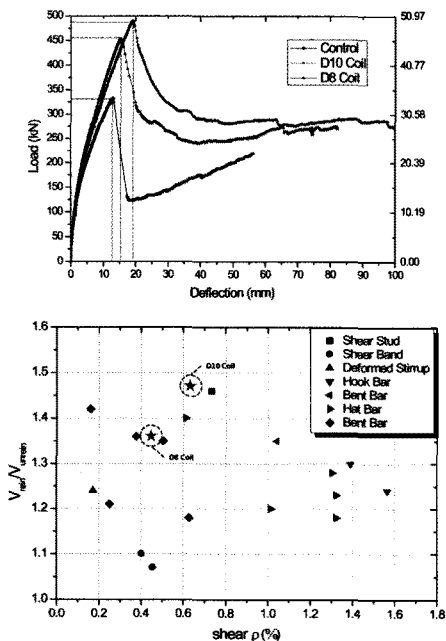


[힐릭스(HELIX) 구조시험 전경]

[그림 12] 힐릭스(HELIX) 구조성능 시험

- ◇ 검증기관 : (사)한국구조물진단유지관리학회
- ◇ 연구총괄 : 한양대학교 건축공학부
- ◇ 연구기간 : 2010.01 ~ 2010.06

5.2 구조성능시험 결과

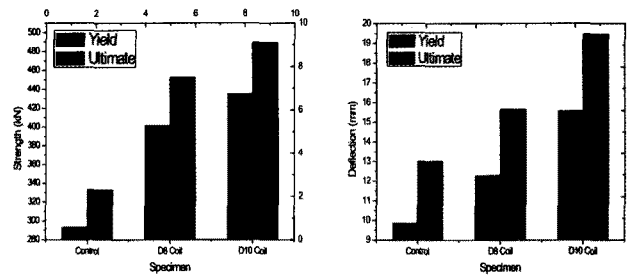


[그림 13.1] 구조성능 시험결과

본 연구에서 제시하고 있는 전단 보강근은 기존에 사용되는 전단 보강근 중에서 가장 높은 전단 철근비를 가지고 있는 Hook Bar에 비하여 절반 이하의 낮은 전단철근비를 가지고 있다.

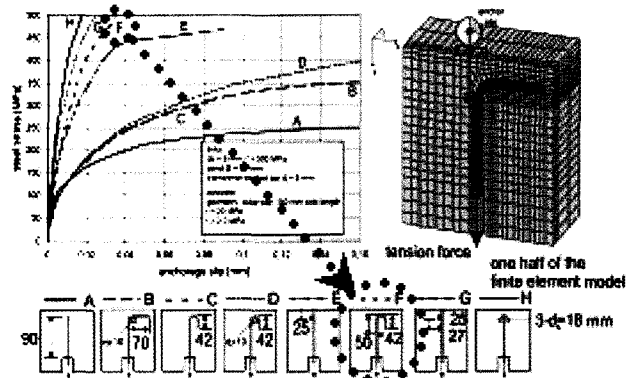
하지만 전단저항능력을 비교해보면, 기존에 사용되고 있는 전단 보강근과 동등 내지는 그 이상의 내력을 확보하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 본 연구에서 제안하고 있는 전단 보강근은 기존 보강근과는 다르게 횡방향 철근에 의하여 정착능력을 확보해주었기 때문이라고 판단되며, 그 이유로 인하여 추가적인 장치 없이 유사한 전단 철근비를 가지는 시어스터드(Shear Stud) 및 벤트 바(Bent Bar)와 동등한 보강성능을 보여주고 있다.

- ◎ 전단강도 : 무보강 대비 최대 47% 증가!
- ◎ 변형능력 : 무보강 대비 최대 50% 증가!



[그림 13.2] 구조성능 시험결과

5.3 정착성능 분석



[그림 14] The effect of anchorage on the effectiveness of the shear reinforcement in the punching zone. R.Beutel, J.Hegger / Cement & Concrete Composite 24(2002), 539~549

이 그래프는 자료(연구논문)의 page 542, Fig. 8 이며, 여러 종류의 전단보강 정착형태에 대하여 해석적 방법으로 정착성능을 비교 분석한 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

이 그래프에 의하면, 수평보조철선이 없는 'C'의 경우 일반적인 정착방법인 'B'와 동등한 정착성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 힐릭스(HELIX) 정착부와 유사한 형태인 수평보조철선이 있는 'F'가 이것이 없는 'C'에 비하여 상대적으로 우수한 정착성능을 가지는 것으로 나타났으며, 스티드스트립(STUDSTRIP)의 시어헤드 정착형태인 'H'와 거의 비슷한 정착성능을 발휘하고 있음을 알 수 있다.

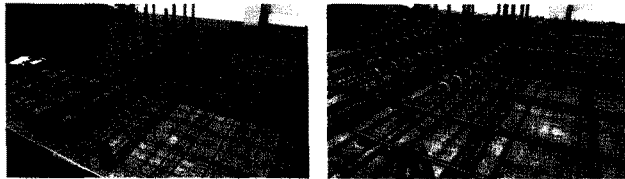
따라서 힐릭스(HELIX)의 수평보조철선은 정착성능을 더욱 향상시키는 조건이므로 구조적인 성능향상에 기여하도록 유지하는 것이 타당한 것으로 판단된다. 그리고 이 수평보조철선은 상부 철근의 처짐을 방지할 수 있는 받침대로 활용할 수 있는 장점도 있으므로 일석이조의 효과를 가진다고 할 수 있다.

6. 힐릭스(HELIX) 시공방법

하부철근 배근 후 힐릭스(HELIX) 설치



하부철근 배근 후 힐릭스(HELIX) 설치




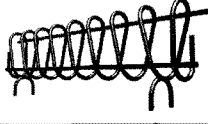
[그림 15] 힐릭스(HELIX) 공법 시공상세

7. 힐릭스(HELIX)공법의 경제성

힐릭스(HELIX)공법은 스티드스트립(STUDSTRIP)공법 대비 40%이상 전단보강 공사비를 절감할 수 있는 공법이다.

그 이유는 힐릭스(HELIX)는 일반적인 수직 전단보강근보다 전단보강 효율을 높일 수 있는 경사 전단보강근을 채택하고 있기 때문이다. 이러한 힐릭스(HELIX)공법의 장점을 살려 전단보강설계를 실시하면 구조성능 향상 및 전단보강 물량을 줄일 수 있다.

아래 표는 스티드스트립(STUDSTRIP)공법과 힐릭스(HELIX)공법의 구조성능을 비교한 것이다.

구분	STUDSTRIP®	HELIX™	비고
형상			
설계 강도	Fy= 345MPa	Fy= 400MPa	16% 증가
경사각	$\sin\theta + \cos\theta = 1.00,$ $\theta = 90^\circ$	$\sin\theta + \cos\theta = 1.22,$ $\theta = 75^\circ$	22% 증가
스티드스트립(STUDSTRIP)대비 38% 향상!			

8. 맺음말

2004년 폐쇄형 스티럽(stirrup) 전단보강 대신 시어헤드형 전단보강 스티드스트립(STUDSTRIP)공법이 도입되면서 삽입형 전단보강공법이 널리 보급되었다. 새로운 개념의 전단보강공법을 국내에 도입, 정착시켜 무량판구조 골조공사의 공기단축과 시공품질 향상에 기여한 것에 그 의미가 있다고 생각한다.

스티드스트립(STUDSTRIP)공법에 이어 현장 작업자 누구나 쉽게 시공할 수 있으면서 경제성을 확보할 수 있는 전단보강재 연구를 지속적으로 한 결과 2008년 시어밴드(Shear Band)형 전단보강재 지-스트립(Z-Strip) 및 2010년 나선형 전단보강재 힐릭스(HELIX)를 개발하였다.

이 중에서 힐릭스(HELIX)공법을 먼저 상용화 한 것은 뛰어난 경제성과 시공 편의성을 최우선적으로 고려한 결과이며, 공기단축과 공사비절감에 크게 기여할 것으로 기대한다.