

앵커헤드(Anchor Head)형 전단보강재의 정착



류 승 일 대표
(주)옥타곤엔지니어링



박 대 영 소장
(주)옥타곤엔지니어링
기술연구소

1. 개요

무량판구조(Flat Plate Structural System)는 콘크리트 슬래브 뚫림전단에 대한 전단보강과 기둥-슬래브 접합부의 내진연성능력 확보가 필수적이다.

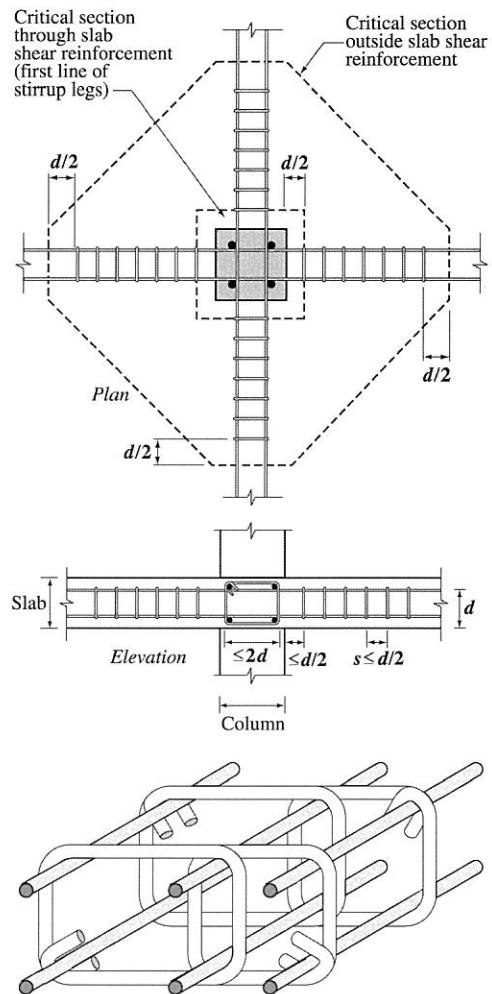
구조설계기준에서 제시하고 있는 콘크리트 슬래브 전단보강방법은 [그림 1]과 같이 주철근을 철근-스터럽(stirrup)으로 완전히 감싸는 후프(hoop)띠철근 형태가 되도록 시공해야 한다고 명시되어 있다.

그러나 철근-스터럽 전단보강공법은 시공이 까다로울 뿐만 아니라, 철근-스터럽의 피복두께 만큼 휨철근의 유효깊이를 감소시켜 콘크리트슬래브의 휨성능이 떨어지는 단점이 있다.

그리고 철근-스터럽 전단보강공법은 얇은 슬래브에는 실용적이지 못하기 때문에 250mm 이상 두꺼운 슬래브에 적용할 것을 권장하고 있다.

이와 같은 철근-스터럽 전단보강공법 문제점을 해결하기 위하여 다양한 형태의 콘크리트 슬래브 전단보강재가 연구 개발되었으며, 그 대표적인 것이 [그림 2]와 같이 몸체(stem) 끝단에 정착용 앵커헤드(anchor head)가 있는 스텐드레일(studrail)이다.

스텐드레일은 캐나다 켈저리대학 Amin Ghali교수와 Walter Dilger교수가 연구 개발하고, 캐나다 DECON사에서 상용화 시킨 콘크리트 슬래브 전단보강 제품으로 현재 북미를 비롯한 유럽 대부분의 나라에서 사용하고 있다.

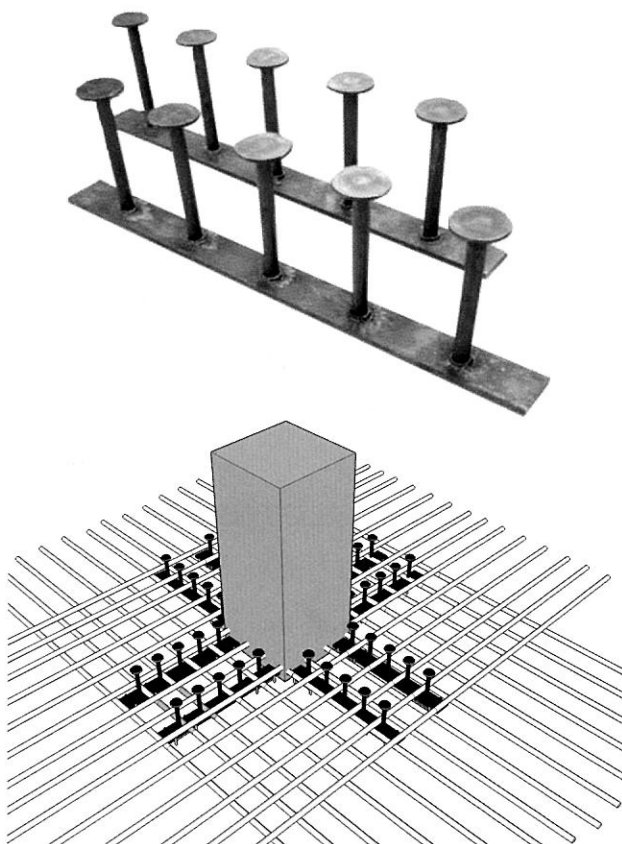


[그림 1] 철근-스터럽(stirrup) 전단보강(출처: ACI 318)

국내에서는 이를 국산화 한 스티드스트립(studstrip)을 가장 많이 사용하고 있다.

미국 콘크리트학회(ACI)에서는 스티드레일(studrail) 전단보강공법에 대한 구조성능 이 우수한 점을 인정하여 1999년 'ACI 421.1R-99 Shear Reinforcement for Slabs' 라는 전단보강설계 지침서를 제정하였다. (제정된 설계 지침서에서는 스티드레일이 상품의 고유명사이기 때문에 이를 'Shear Stud Assembly' 라 표현하고 있음)

그리고 2008년 'ACI 421.1R-08 Guide to Shear Reinforcement for Slabs' 로 개정되면서 ACI 318-08 설계기준에 포함되었다.



[그림 2] 스티드레일(스티드스트립)

2. 앵커헤드(Anchor Head)

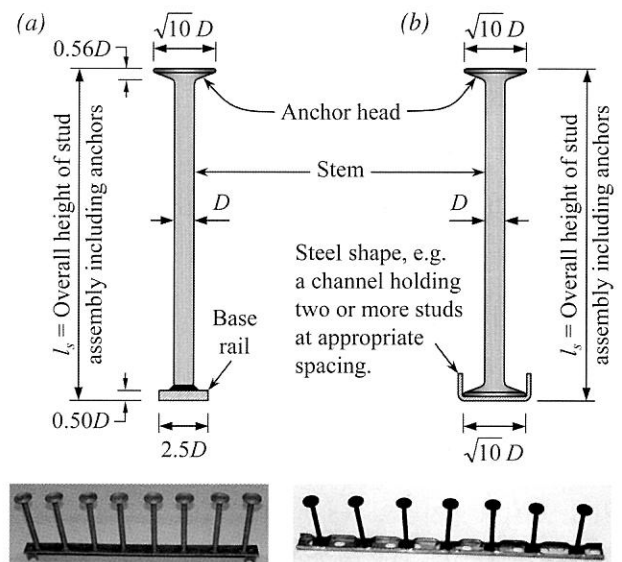
전단보강재의 정착부는 콘크리트의 압축저항능력을 활용하여 독립적인 정착성능을 가지는 구조로 만들어야 전단보강 구조성능을 발휘할 수 있다.

대표적인 것으로 [그림 2]에서 보는 것과 같은 스티드레일

(스티드스트립)이라 할 수 있다.

스티드전단보강재(stud shear reinforcement)는 [그림 3] (a)와 같이 헤드앵커가 형성된 시어스터드를 베이스레일과 용접 접합하여 만든 것과 [그림 3] (b)와 같이 시어스터드 양쪽 끝 단을 헤드앵커로 만든 것이 있다.

[그림 3] (b)와 같이 양쪽 끝 단에 헤드앵커가 있는 경우, 구조설계로 정해지는 일정한 간격으로 시어스터드를 설치해야 하기 때문에 별도의 결합용 형강(channel)이 필요하며, 이 경우 결합용 형강은 구조재로 보지 않는다.



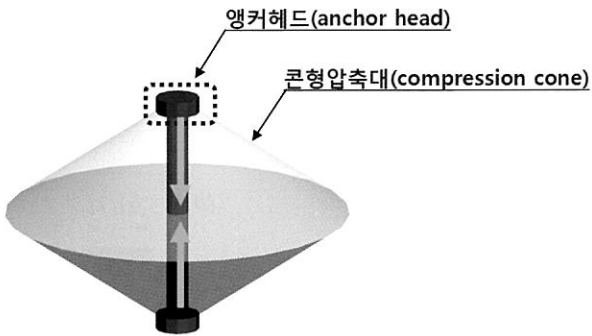
[그림 3] 스티드전단보강재(출처: ACI 421.1R & Ghali A.)

스티드레일(스티드스트립)의 정착방법은 앵커헤드와 콘크리트의 압축저항능력을 활용하여 독립적인 정착구조를 형성하도록 만든다.

시어스터드에 인장력이 작용하면 시어스터드 양단부의 앵커헤드(anchor head)가 콘크리트를 압착하고, [그림 4]와 같이 앵커헤드로부터 슬래브 중심까지 깔때기모양의 압축대(compression cone; 이하 콘형압축대)가 형성된다. 이는 시어스터드의 인장력과 앵커헤드 및 내부콘크리트가 형성하는 콘형압축대의 압축력에 의하여 상호 구속하는 독립적인 정착구조를 만들게 한다.

시어스터드 끝 단에 있는 앵커헤드 단면적을 몸체(stem) 단면적의 약 9~10배가 되도록 크게 만드는 이유는 앵커헤드 외곽지를 끝 단으로부터 형성되는 콘형압축대를 크게 만들기 위함이다. 앵커헤드 크기에 관해서는 2008년 개정된 'ACI

421.1R-08 Guide to Shear Reinforcement for Slabs' 기준에 설명되어 있으며, 캐나다 캘거리대학 Amin Ghali교수와 Walter Dilger교수를 비롯한 다수의 연구자가 1981~2006까지 발표한 실험논문에 의해 검증된 결과를 근거하여 정한 것임을 밝히고 있다.



[그림 4] 콘형압축대(compression cone)

3. 앵커헤드의 구조(형상)

앵커헤드가 있는 전단보강재는 시어스티드가 인장력에 의해 항복하더라도 정착부 파괴가 일어나지 않도록 만들어야 구조적인 안전성을 확보할 수 있다.

시어스티드에 인장력을 가하면 시어스티드 양단 앵커헤드에 의하여 [그림 4]와 같은 콘형압축대가 형성되고, 콘크리트를 압착하는 앵커헤드에는 [그림 5]와 같이 콘크리트 지압력이 작용하게 된다.

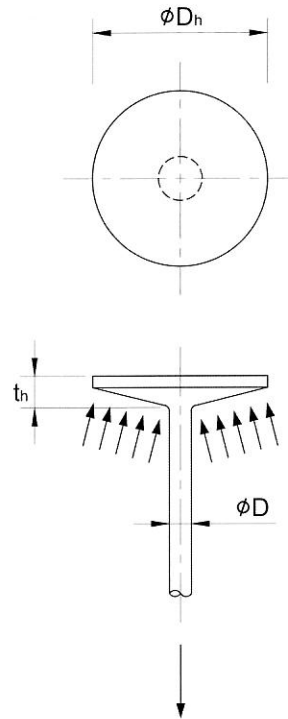
스티드스트립(스티드레일) 앵커헤드의 단면적은 콘크리트 지지표면에 비하여 상대적으로 매우 적기 때문에 콘크리트 지지표면이 앵커헤드 재하면 보다 모든 측면에서 큰 경우에 해당된다. 따라서 앵커헤드에는 콘크리트 설계지압강도가 균등하게 작용한다고 볼 수 있다.

앵커헤드에 작용하는 지압응력은 다음 식과 같이 산정할 수 있으며, 앵커헤드는 이 지압응력에 대한 구조안전성을 확보해야 한다.

$$f_p = \phi(0.85 f_{ck})\sqrt{A_2/A_1}$$

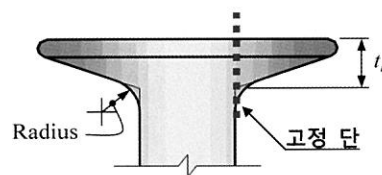
여기서, ϕ = 강도저감계수(0.65),

f_{ck} = 콘크리트 설계기준강도(MPa)



[그림 5] 앵커헤드에 작용하는 지압응력

스티드레일(스티드스트립)의 앵커헤드는 원형이며, 헤드부의 단면은 시어스티드와 연결된 중심으로 갈수록 점차 두꺼워지는 구조로 만든다. [그림 6]



[그림 6] 앵커헤드형상 (출처: ASTM A1044/A1044M)

앵커헤드에 작용하는 지압응력은 시어스티드와 연결된 고정단에 굽힘응력을 발생시키므로 이 굽힘응력이 앵커헤드의 휨강도(bending strength)를 초과하지 않도록 만들어야 구조적인 안전성을 확보할 수 있다.

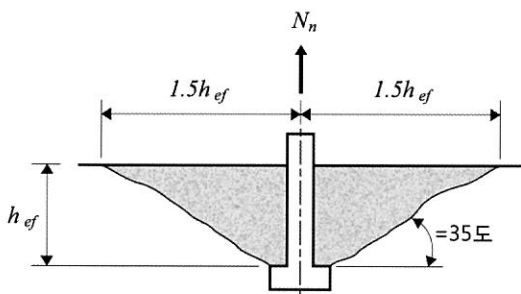
앵커헤드 단면적을 크게 만들면 전단보강근의 구조성능을 증대시킬 수 있으나, 이와 비례하여 앵커헤드 고정단에 매우 큰 휨응력이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 제약조건을 만족할 수 있는 최적의 치수를 찾아 내야 하는 것이 중요하며, 앵커헤드의 단면형상과 크기를 결정하는 필수조건이라 할 수 있다.

전단보강재의 앵커헤드(Anchor Head for Shear Reinforcement)와 콘크리트용 앵커 (Cast-in Anchor)의 정착방법을 비교하면 큰 차이가 있다.

콘크리트의 지압강도(bearing strength)를 활용하는 전단보강재는 앵커헤드 지름을 몸체(stem) 지름의 약 3~3.15배 정도 크게 만들어야 하지만, 문힘 깊이 및 측면 피복두께에 따른 콘크리트파괴강도(concrete breakout strength)나 측면 파열강도(side-face blowout strength)를 활용하는 콘크리트용 앵커헤드 지름은 몸체 지름의 약 1.6~2배 정도로 작게 만든다.

전단보강재의 전단능력 즉, 스티드레일의 몸체(stem)의 인장강도는 콘크리트와 접하는 앵커헤드 단면적 크기에 비례하므로 전단보강근의 단면적이 증가하면 앵커헤드의 단면적이 같이 증가한다.

반면, 콘크리트용 앵커의 인장강도는 [그림 7]과 같이 앵커헤드로부터 시작하는 원추형 파괴단면의 크기에 비례하므로 앵커헤드의 문힘 깊이에 따라 인장강도가 결정된다. 그러므로 콘크리트가 원추형 파괴단면을 형성할 수 있는 정도의 앵커헤드 지름을 확보하면 되기 때문에 상대적으로 작게 만드는 것이다.



[그림 7] 인장에 의한 콘크리트 파괴형상(출처: ACI 318)

4. 베이스레일(Base Rail)

베이스레일은 헤디드앵커와 같은 구조재(structural element)로 사용하므로 미국 표준협회 ASTM A1044/A1044M(Standard Specification for Steel Stud Assemblies for Shear Reinforcement of Concrete)기준에 시어스터드 규격(지름)별 베이스레일의 단면치수 및 항복강도를 정해 놓았다.

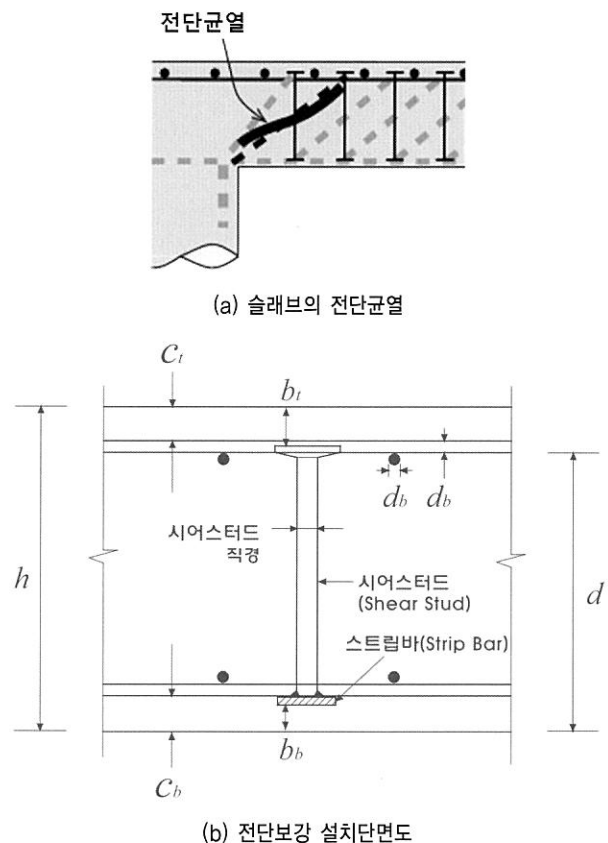
베이스레일은 단면적에 항복강도를 곱한 인장강도($A_s F_y$)를

유지하도록 정하고 있으며, 이와 비교하여 동등 이상의 인장강도를 확보할 경우 베이스레일의 단면치수와 항복강도를 조정하여 적용할 수 있다.

슬래브 전단파괴는 사인장균열에 의해 발생하는 특징이 있다. 즉, 약 45° 내외의 각도로 발생하는 사인장균열과 직교방향으로 인장 파단력이 작용하므로 이와 평행한 방향(사인장균열과 직교방향)으로 보강하는 것이 가장 효율적인 전단보강 방법이다.

그러나 헤디드앵커가 부착된 전단보강근은 시공 편의성을 고려하여 [그림 8]에서 보는 바와 같이 슬래브 휨철근 배근방향과 직각방향으로 설치한다. 그러므로 사인장력의 방향이 45°라 가정하면, 시어스터드에 작용하는 수직 인장력의 크기와 수평으로 연결된 베이스레일(스트립바)에 작용하는 수평 인장력의 크기는 동일하다고 볼 수 있다.

따라서 베이스레일은 시어스터드의 인장강도와 동등 이상의 인장력에 견딜 수 있는 단면적을 확보해야 한다.



[그림 8] 스티드레일(스티드스트립) 설치 단면도

그리고, ASTM A1044/A1044M에서는 시어스터드와 베이스레일의 접합방법을 스티드용접(stud welding) 방법으로 한

정하고 있는데 이는 베이스레일의 단면결손 없이 접합할 수 있는 유일한 방법이기 때문이다. [그림 9] (a) 참조.

따라서 [그림 9] (b)와 같이 볼트(리벳) 접합방법은 허용하지 않고 있다.

이것은 베이스레일에 접합용 구멍(hole)을 뚫을 경우 단면결손이 발생하기 때문이다.



(a) 용접접합(O)

(b) 리벳(볼트)접합(X)

[그림 9] 시어스터드와 베이스레일(스트립바)의 접합방법

5. 결론

무량판 구조의 콘크리트 슬래브 전단보강은 구조적으로 취약한 부분을 보강 하는 것이므로 구조안전성을 최우선적으로 고려해야 한다.

건축구조기준에서는 전단보강근이 설계기준항복강도를 충분히 발휘할 때까지는 적어도 정착부에서 과도한 변형이나 파괴가 일어나지 않아야 한다고 명시하고 있다.

그러므로 앵커헤드형 정착부가 있는 전단보강재는 몸체(stem)가 인장력에 의해 항복하더라도 정착부 파괴가 일어나지 않도록 만들어야 구조안전성을 확보할 수 있다.

앵커헤드 정착부는 콘크리트 지지표면에 비하여 상대적으로 매우 적은 단면적을 가지기 때문에 콘크리트 설계지압강도가 균등하게 작용한다고 볼 수 있고, 앵커헤드에 작용하는 지압응력은 몸체(stem)와 연결된 고정 단에 굽힘응력을 발생시키므로 앵커헤드의 휨강도(bending strength)를 초과하지 않는 범위 내에서 단면형상, 크기 및 두께 등을 정해야 한다.

[주]

- 스테드레일(studrail)은 캐나다 DECON사의 등록상표 (registered trade mark)임
- 스테드스트립(studstrip)은 (주)옥타곤엔지니어링의 등록상표임