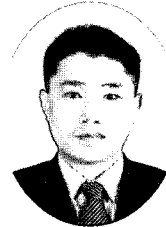


# 현장 타설용 헤드 스테드와 비교 될 수 있는 후 설치 앵커인 언더컷 앵커의 하중 능력

- Performance of Undercut Anchors in Comparison to Cast-in-place Headed Studs -



이상재\*  
Lee, Sang Jae



고희만\*\*  
Ko, Hee Man



조경호\*\*  
Cho, Kyung Ho

본 기사는 Hilti 본사 Peter Pusill-Wachtsmuth가 발표한 내용을 번역하여 정리한 것이다.

## 1. 머리말

현장 타설용 헤드 스테드는 세계적으로 널리 사용되고 있는 앵커 제품이라 할 수 있으며, 또한 콘크리트에서 사용시 하중능력이나 적합성에 관해서도 일반적으로 신뢰되고 있는 추세이다. 이에 대해 헤드 스테드 앵커와 비슷한 하중 특성을 보이고 있는 후 설치 앵커인 언더컷 앵커가 개발되어 이 제품에 대한 기술정보를 소개하고자 한다. 본고에서는 제품에 대한 시공의 편리성이나 설치 과정 및 비용과 같은 차이점을 언급하기 보다는 인장과 전단 하에서 두 제품의 하중능력을 비교 하는데 중점을 두고 있다.

헤드 스테드와 언더컷 앵커는 대체로 비슷한 성능을 보이고 있으며, 단지 주요 차이점은 필요로 하는 모재의 두께이다. 비교할 앵커로서 Hilti의 HDA 앵커는 승인 결과에 규정된 하중 값을 과감히 감소시

킨 것으로서 헤드 스테드와 성능면에서 비교 대체가 가능한 제품이라 할 수 있다.

앵커 플레이트에 용접된 현장 타설용 헤드 스테드는 작용하중을 콘크리트로 전달하기 위해 사용된다. 하중과 관련된 스테드의 치수와 설계법은 국가마다 규정과 표준에 있어서 다를 수 있음에도 불구하고, 일반적으로 설계 엔지니어는 스테드 앵커의 하중 능력에 대해서는 의구심을 갖지 않고 있는 것이 현실이다. 최근에 개발된 후 설치 앵커는 헤드 스테드와 동일하게 사용이 가능하도록 시도하고 있다. 이런 새로운 기술에 대해서는 국내 또는 국제적인 지침이나 규정에 따라 승인절차를 관리할 필요가 있다. 이러한 승인자료는 제품의 성능의 특성을 제공하여 앵커 설계에 대하여 도움을 줄 수 있게 된다.

다음은 헤드 스테드와 언더컷 앵커와의 주요 성능 특성의 비교와 앵커 배치의 기술적 요구사항, 콘크리트 모재의 치수에 대한 것이다. 두 시스템 모두 설계 개념이 비교적 복잡하지만 앵커의 실제 거동에 더 가까운 계산이 가능하다. 계산이 너무 복

잡해지면 전반적인 비교에서 어려움이 있으므로 결과에 대한 전제가 명확해야 한다. 그렇지 않으면 한 시스템의 이점만을 보여 주게 되는 것이 될 수 있고, 그것은 결국 다른 제품의 단점을 보여 주게 되는 결과를 초래하게 될 수 있기 때문이다.

비교 내용은 성능 특성과 설계에 대한 것이다. 이 보고서는 헤드 스테드와 언더컷 앵커간의 서로 다른 특성에 관한 것이 아니라, 헤드 스테드나 언더컷 앵커 중 한 가지를 선택 할 때 도움을 주고자 하는 것이다. 이것은 시공이나 제품의 비용에 대한 것일 수도 있고 현장 타설용 앵커에 대한 후 설치 앵커의 장점이나 기타 내용이 될 수도 있을 것이다. 따라서, 이러한 것은 모든 다른 특징과 구분하여 협의 되어야 한다.

## 2. 헤드 스테드

언더컷 앵커와의 비교를 위해 사용된 헤드 스테드의 치수와 오차는 ISO 13918/1/에서 표준화 되어 있다. 여기에는 재료적인 특성도 포함 되어 있다. 일반적으로 스테드는 CEB/2/의 설계 기준의 요건을 충족시킨다. 아래에서는 제외되어 있지만 헤드의 두께만이 요구값 보다 작은

\* (주)힐티코리아 차장

\*\* (주)힐티코리아 과장

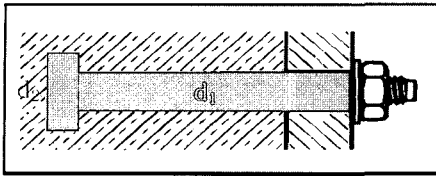


사진 1. Headed studs according EN ISO 13918

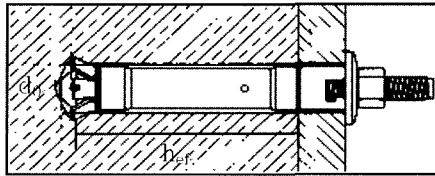


사진 2. HDA Undercut anchor

표 1. Headed studs according EN ISO 13918

Diameter of the stud( $d_1$ )	mm	10	13	16	19	22	25
Diameter of the head( $d_2$ )	mm	19	25	32	32	35	40
Anchorage depth( $h_{ef}$ )		available in different length					

표 2. HDA Undercut anchor

		M10	M12	M16
drill bit diameter( $d_0$ )	mm	20	22	30
anchorage( $h_{ef}$ )	mm	100	125	190

값을 가진다. 헤드 스티드는 설계 기준 CEB/2/의 연단거리, 앵커간 거리에 대한 제안값을 만족하면 어떤 재검증 시험 없이 사용 될 수 있다.

### 3. 언더컷 앵커

현재 앵커 시장에는 설치방법이나 치수, 모양이 다른 많은 종류의 언더컷 앵커가 있지만, 헤드 스티드와의 비교를 위해 Hilti HDA 앵커를 선택하였다. 그 이유는 다른 제품들에 대해서도 쉽게 비교는 할 수 있지만, 선택된 앵커가 유럽기술승인(ETA)에 따르기 때문에 유럽 규정을 만족하는 앵커에 대해서만 사전 심사를 하였다. 사전심사 시험 결과 제조사의 지침에 비해 설치시의 오차나 철근 콘크리트 구조에서 발생하는 균열에 대해서는 제조사의 지침에 비해 그다지 민감하지 않은 것으로 밝혀졌다. 또한, 반복하중이나 균열폭이 변하는 상황에 대해서도 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타나고 있다. 이것으로 보아 사전 심사된 앵커는 예측 가능하고 신뢰할 만한 방식으로 거동한다고 볼 수 있으며 설계 지침 CEB2의 범위에 따라 적용하는 곳에서는 헤드 스티드와 언더컷 앵커의 신뢰성에는 차이점이 없는 것으로 나타났다.

### 4. 인장 하중 하에서의 앵커의 하중 능력

#### 4.1 연단거리 및 앵커 간격의 영향이 없는 상태에서의 하중능력

헤드 스티드의 하중 계산은 CEB (NO226) 1995. 2 '콘크리트에서의 부착 설계'를 근거로 하고, 언더컷 앵커는 Hilti

HDA의 유럽 승인(ETA-99/0009)을 근거로 하고 있다.

헤드 스티드의 규격은 <표 1>에 표기되어 있고, 언더컷 앵커에 대해서는 설치 깊이는 125 mm, 직경은 M12의 앵커가 이번 비교 분석을 위해 선택 되었다. 이런 비교 분석은 다른 직경의 언더컷 앵커에 대해서도 쉽게 적용 될 수 있다.

<표 3>은 연단거리와 앵커 간격에 영향이 없고 콘크리트 강도가 약 21 MPa일 때, 인발 하중 하에서 각기 다른 파괴에 대한 저항능력을 보여 주고 있다. 강재의 파괴하중 값은 헤드 스티드는 강재의 항복 강도를, 언더컷 앵커는 극한 강도 값을 근거로 하고 있다.

부분 안전 계수도 각각 다르기 때문에 설계 저항값에 대해서만 비교 될 수 있다. 다른 파괴모드에 대해서는 부분 안전 계수는 같다. 강재 파괴는 언더컷 앵커나 헤드 스티드에 대하여 결정적인 파괴 형태는 아니다. 앵커 뿔힘 파괴나 콘크리트 콘(cone) 파괴는 균열, 비 균열 콘크리트에 대하여 구분이 되어야 한다. 헤드 스티드의 뿔힘 파괴에 대한 설계는 극한 한계 상태와 사용 한계상태 설계에 대해 검토 되

표 3. 헤드 스티드와 언더컷 앵커의 설계 저항의 비교표

		Heeded studs according EN ISO 12918						HDA	
$d_1$	mm	10	13	16	19	22	25	M12	
$h_{ef}$	mm	125	125	125	125	125	125	125	
Steel failure									
$N_{Rd,s}$	kN	22.9	38.7	58.6	82.7	110.9	143.2	44.7	
cracked concrete									
Pull out failure									
$N_{Rd,p}$	kN	C20	17.1	29.8	50.3	43.4	48.5	63.8	19.4
Pull out failure, serviceability limit state									
$N_{Rd,p}$	kN	C20	10.2	17.9	30.2	26	29.1	38.3	19.4
Concrete cone failure									
$N_{Rd,e}^{\circ}$	kN	C20	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	32.2
non-craked concrete									
Pull out failure									
$N_{Rd,p}$	kN	C20	25.1	43.8	73.7	63.6	71.1	93.6	45.1
Pull out failure, serviceability limit state									
$N_{Rd,p}$	kN	C20	16.4	28.7	48.3	41.7	46.6	61.3	45.1
Concrete cone failure									
$N_{Rd,e}^{\circ}$	kN	C20	43.8	43.8	43.8	43.8	43.8	43.8	45.1

어져야 한다. CEB2에서 스테드의 헤드 아래 허용압력은 사용한계 상태에 주어져 있으며, 이 값은 특성 작용과 부분 안전 계수 1을 사용하는 설계 작용으로 변환 된다. 그 설계 작용은 설계 저항 값과 동일하고 다음 <표 3>에 주어져 있다.

콘크리트 콘 저항을 계산하기 위한 식은 헤드 스테드(9)와 언더컷 앵커(7.5)에 대한 K 계수 값에 따라 다르다. 언더컷 앵커의 승인 절차에서는 헤드 스테드에 대한 계수가 언더컷 앵커에 대하여 적용되어 질 수 있다는 것을 보여 주고 있다.

균열 콘크리트에서 가장 큰 직경의 헤드 스테드에서는 콘크리트 콘 설계 저항이 결정적인 역할을 하고, 그 외의 직경은 사용한계 상태에서 앵커(스테드) 뿔힘 저항이 된다. 또한 앵커 뿔힘 설계 저항이 언더컷 앵커에 대해서는 가장 작은 값이 된다.

HDA M12의 저항하중은 헤드 스테드 직경 13mm 또는 16mm와 비교 될 수 있고, M12 보다 큰 직경의 헤드 스테드에 대해서는 설계 저항이 언더컷 앵커 M12 보다 크다. 왜냐하면 지압 면적이 크게 증가하기 때문이다.

비 균열 콘크리트에서의 콘크리트 파괴는 언더컷 앵커와 중간 직경과 가장 큰 두 직경의 헤드 스테드에 대해 중요한 파괴요인이 된다. 하지만 설계 저항에 대한 값은 상호 동일하다. 언더컷 앵커와 헤드 스테드와의 약간의 편차는 콘크리트 저항값의 계산 공식에서 발생하는 어림값 때문으로 보고 있다. 가장 작은 두 직경과 중간 직경의 헤드 스테드는 뿔힘 파괴가 결정적 파괴 요인이 되며, 그 저항 값은 콘크리트 콘 파괴 값 보다 작으며 따라서 언더컷 앵커보다도 작다. 결론적으로 말하면, 뿔힘 저항은 균열 콘크리트에서 중요한 요인이라고 일반적으로 말할 수 있다.

언더컷 앵커(M12)는 헤드 스테드 13~16mm 직경과 동일한 하중 능력을 가졌으며, 비 균열 콘크리트에서는 뿔힘 파괴가 결정적이지 않을 경우 13mm 이상 직경의 헤드 스테드와 동일한 하중 능력을 나타내었다.

표 4. 헤드 스테드와 언더컷 앵커의 모재 두께, 연단거리 및 앵커간 간격

		Headed studs according EN ISO 12918						HDA
$d_t$	mm	10	4	16	19	22	25	M12
$h_{ef}$	mm	125	125	125	125	125	125	125
$C_{cr,N}$	mm	190	190	190	190	190	190	190
$S_{cr,N}$	mm	375	375	375	375	375	375	375
$C_{min}$	mm	30	39	48	57	66	75	100
$S_{min}$	mm	50	65	80	95	110	125	125
$C_{cr,sp}$	mm	250	250	250	250	250	250	250
$S_{cr,sp}$	mm	500	500	500	500	500	500	500
$h_{min}$	mm	142	143	143	145	145	147	250

#### 4.2 연단거리 및 앵커 간격의 영향에 대하여

<표 4>에는 헤드 스테드와 언더컷 앵커에 대한 적절한 연단거리, 앵커 간격 그리고 최소 모재 두께가 주어져 있다. 콘크리트 콘 파괴인 경우에 연단거리와 앵커 간격에 영향이 없이 단일 앵커의 특성 인장 저항을 얻기 위해 필요한 연단거리( $C_{cr,N}$ )와 앵커 간격( $S_{cr,N}$ )에 대한 값(치수)은 헤드 스테드나 언더컷 앵커에 대해 모두 동일하다. <표 3>에 표현되어 있듯이, 콘크리트 콘 저항값 또한 동일하다. 최소 연단거리( $C_{min}$ )와 최소 앵커 간격( $S_{min}$ ) 이상의 값을 가지는 경우 그룹 앵커에서는 헤드 스테드와 언더컷 앵커의 콘크리트 콘 파괴에 대한 설계 저항은 동일하다.

중요한 차이점은 헤드 스테드가 일반적으로  $C_{min}$ 과  $S_{min}$ 의 값이 작다. 이 의미는 헤드 스테드인 경우는 언더컷 앵커에 비해서 작은 연단거리와 앵커 간격인 경우에 사용 될 수 있다는 것이다.(이 경우에서의 설계 저항은 <표 3, 4>에는 없는 국부적인 파괴에 대하여 계산 되어야 하며 언더컷 앵커는 작은 연단거리에서 사용되는 것이 허용 되지 않기 때문에 이번 상호 비교에 포함 하지 않았다.)

$C_{min}$ 과  $S_{min}$ 에 대하여 2가지 제품이 서로 다른 이유는 앵커 플레이트에 용접된 헤드 스테드는 토오크가 필요 없고, 언더컷 앵커인 경우는 콘크리트에 앵커 플레이트를 조이기 위해서는 설치 후에 토오크를 필요로 하기 때문이다.

모재(콘크리트) 갈라짐에 대한 연단거

리( $C_{cr,sp}$ )와 앵커 거리( $S_{cr,sp}$ )는 언더컷 앵커 경우에는 기존  $C_{cr,N}$ ,  $S_{cr,N}$ 과 동일하다. 이 의미는 모재 갈라짐 파괴가 이번에 비교되는 두 제품에서는 중요한 요인이 아니며 앵커 설계에서는 무시 되어질 수 있다는 의미이다.  $C_{cr,sp}$ (갈라짐에 대한 연단거리),  $S_{cr,sp}$ (갈라짐에 대한 앵커 간격)은 CEB2에 나타나 있듯이, 헤드 스테드의 기준 값은 안전한 위치에 있으며 더 작은 값 사용을 위해서는 사전 승인 시험을 통하여 적합한 하중 능력을 검증 받으면 가능하다.

헤드 스테드의 가장 큰 장점은 최소 모재 두께에 있다.  $h_{min}$ 은 콘크리트에 설치된 헤드 스테드의 최소 길이와 철근 콘크리트 피복 두께를 합한 최소 길이이다.

<표 4>에서는 헤드 스테드의 10mm에 대한 것이며, 언더컷 앵커는 최소 모재 두께가 헤드 스테드의 모재 두께에 비해 약 75%가 크다.

#### 5. 얇은 콘크리트 부재에서 언더컷 앵커의 거동

후 설치 앵커에 대한 최소 모재 두께는  $h_{min} = 2h_{ef}$ (100mm 보다 크거나)인 것을 기본으로 하고 있다. 모재 두께에 관한 제한은 앵커가 하중을 받거나 설치되는 동안에 모재가 갈라지는 현상으로, 앵커가 모서리에 인접하여 설치될 때 적용된다. 후 설치 앵커에서  $C_{cr,sp}$ (모재 갈라짐에 대하여 영향이 없는 연단거리),  $C_{min}$ (최소 연단거리)은 테스트를 통하여 확인 되어야 한다.  $C_{cr,sp}$ 는 모서리에 설치된 앵커가  $C_1$

표 5. 얇은 콘크리트 두께에서 HDA 언더컷 앵커의 시험결과

test	HDA M	hef mm	fe Mpa	c <sub>1</sub> mm	c <sub>2</sub> mm	s mm	h mm	Fu kN	fm	Nu,exp kN	Ac,N /A <sup>0</sup>	ψs,N	Nu,N	xij
2	10	100	34	80	80		140	44.51	C	90.4	0.59	0.86	45.7	0.97
3	3	10	100	34	80	80	140	47.8	C	90.4	0.59	0.86	45.7	1.05
4	10	100	34	80	80		140	48.47	S	90.4	0.59	0.86	45.7	>1.06
2.1	10	100	34	150	150		140	48.82	S	90.4	1	1	90.4	
2	10	100	34	150	150		140	47.25	S	90.4	1	1	90.4	
3	10	100	34	150	150		140	47.9	S	90.4	1	1	90.4	
4	10	100	34	150	150		140	48.43	S	90.4	1	1	90.4	
3.1	10	100	34	80		100	140	90.42	S	90.4	1.02	0.86	79.5	>1.14
2	10	100	40.7	80		100	140	88.36	C	98.9	1.02	0.86	86.9	1.02
3	10	100	40.7	80		100	140	85.74	Sp	98.9	1.02	0.86	86.9	0.99
4.1	12	125	34.2	100	100		170	70.08	C	126.7	0.59	0.86	64	1.09
2	12	125	34.2	100	100		170	69.62	C	126.7	0.59	0.86	64	1.08
3	12	125	34.2	100	100		170	72.6	C	126.7	0.59	0.86	64	1.13
4	12	125	34.2	100	100		170	69.62	C	126.7	0.59	0.86	64	1.09
5.1	12	125	34.2	190	100		170	73.2	S	126.7	1	1	126.7	
2	12	125	34.2	190	190		170	73.84	S	126.7	1	1	126.7	
3	12	125	34.2	190	190		170	73.18	S	126.7	1	1	126.7	
4	12	125	34.2	190	190		170	73.03	S	126.7	1	1	126.7	
6.1	12	125	34.2	100		125	170	119.28	C	126.7	1.02	0.86	111.4	1.07
2	12	125	34.2	100		125	170	121.54	C	126.7	1.02	0.86	111.4	1.09
3	12	125	34.2	100		125	170	114.12	C	126.7	1.02	0.86	111.4	1.02
4	12	125	34.2	100		125	170	112.96	Sp	126.7	1.02	0.86	111.4	1.01
7.1	12	125	34.2	190		375	170	149.67	S	126.7	2	1	253.4	
2	12	125	34.2	190		375	170	149.19	S	126.7	2	1	253.4	
3	12	125	34.2	190		375	170	150.82	S	126.7	2	1	253.4	
8.1	16	190	35.7	150	150		250	131.31	S	242.5	0.58	0.86	121.2	1.08
2	16	190	35.7	150	150		250	135.31	S	242.5	0.58	0.86	121.2	1.12
3	16	190	35.7	150	150		250	138.37	S	242.5	0.58	0.86	121.2	1.14
4	16	190	35.7	150	150		250	136.12	S	242.5	0.58	0.86	121.2	1.12
9.1	16	190	35.7	285	285		250	138.49	S	242.5	1	1.01	242.5	
2	16	190	35.7	285	285		250	135.19	S	242.5	1	1.01	242.5	
3	16	190	35.7	285	285		250	135.87	S	242.5	1	1.01	242.5	
4	16	190	35.7	285	285		250	135.48	S	242.5	1	1.01	242.5	
10.1	16	190	35.7	150		150	250	241.28	C	242.5	0.96	0.86	200.6	1.2
2	16	190	35.7	150		150	250	255.25	C	242.5	1.02	0.86	211.7	1.21
3	16	190	35.7	150		190	250	263.19	Sp	242.5	1.02	0.86	211.7	1.24
4	16	190	35.7	150		190	250	269.47	S	242.5	1.02	0.86	211.7	1.27
11.1	16	190	35.7	285		570	250	267.92	S	242.5	2	1	485.1	
2	16	190	35.7	285		570	250	267.02	S	242.5	2	1	485.1	
3	16	190	35.7	285		570	250	271.77	S	242.5	2	1	485.1	

=  $C_2 = C_{cr,sp}$ 이며 모재 두께가  $2h_{ef}$ 인 경우에 대해 인장 하에서의 뽑힘 테스트가 요구 된다. 여기서 파괴 하중은 연단거리나 앵커 간격에 영향이 없는 상황 하에서의 앵커 파괴 하중과 같아야 한다.  $C_{min}$ 의 평가를 위해 두 앵커를  $C_{min}$ 과  $S_{min}$ 의 간격으로 연단에 평행하게 배치하며 모재 두께는  $2h_{ef}$ (유효 설치 깊이에 2배)로 설치한다. 파괴가 될 때까지 토오크나 하중을 가하며 이 경우 대부분 갈라짐 파괴가 발생한다. 토오크 모멘트를 필요로 하는 후 설치 앵커의 파괴시까지 토오크는 설치시 필요한 토오크에 비해 여유 치가 규정 되어야 한다. 인장 하에 있는 앵커가 하중을 받을 때의 파괴 하중은 CEB2 또는 별첨 5C에 표현된 설계 개념에 따라 계산된 파괴 하중과 비교 되어야만 한다.

일반적으로 갈라짐에 대한 설계는 앵커 링 부위에 콘크리트가 균열이 없거나 앵커 계산에서 앵커가 더 큰 저항값이 요구되는 경우에만 필요하다. 따라서 최소 모재 두께는 모재 갈라짐 때문에 이미 정해져 있으며, 최근에는 균열 콘크리트에 대해서도 동일한 모재 두께가 요구된다. 모재 갈라짐은 중요한 요인(콘크리트가 이미 균열되었기 때문에)이 아니라도  $h_{min} = 2h_{ef}$  사용되어야 한다. 물론 이것은 안전한 설계 관점이다. 일반적으로 그 규정은 실제 적용에 있어서 제한을 받지 않는다. 왜냐하면, 후 설치 앵커가 낮은 앵커 설치 깊이에서도 사용되기 때문이다. 하지만 헤드 스타드와 비교 될 수 있는 언더컷 앵커에서 그 제한을 적용시키기가 어렵다. 예를 들면 설치 깊이가 190 mm인 언더컷 앵커 HDA M16 앵커의 경우 모재 두께는 380 mm가 요구된다. 이러한 상황은 특히 슬래브나 벽체에서 더욱 자주 나타난다. 언더컷 앵커의 모든 직경에 대해 가장 적합한 모재 두께, 연단거리 그리고 앵커 간격에 대한 테스트는 ETAG 5의 요건에 맞게 수행 되었다.(표 4)

최소 모재 두께는 드릴 링이나 앵커 설치 시, 반대편 콘크리트의 손상을 피하기 위해 정해졌다. 모재 두께는 앵커 설치

깊이에 드릴 비트 직경의 두 배를 더한값으로 하였으며,  $C_{cr,sp}$ 는  $1.5h_{ef}$  그리고  $S_{cr,sp}$ 는  $3h_{ef}$ 로 하였다. 이것은 콘크리트 파괴시의 값과 같으며 설계에서 갈라짐이 결코 중요한 요인이 아님을 나타내고 있다. 그러므로  $C_{min}$ 과  $S_{min}$ 은 승인 서류에 있는 것과 같은 값이다.

추후에는 줄여진 값의 사용에 대한 내용이 있지만, 현재까지는 너무 많은 매개 변수(parameter)가 있어서 이러한 변수들은 그대로 사용하는 것으로 한다.

시험 매개변수(parameter)의 결과와 평가는 <표 5>에 정리 되어 있다.  $C_1$ ,  $C_2$  만이 주어진 경우는 단일 앵커가 연단에서 인장을 받는 경우이다.  $C_1$  과 S 가 주어진 경우 연단에 평행하게 두 앵커가 배치되어 인장을 받는 경우이다.

파괴 모드는 다음과 같다 : 콘크리트 갈라짐(Sp, 할렬 파괴), 콘크리트 파괴, 연단 파괴(C) 그리고 앵커 강재 파괴(S)

이 평가는 시험에서 극한 하중이 콘크리트 콘 저항 보다 크거나 같은 경우, 모

재 갈라짐이 중요한 요인이 아니라는 사실을 근거로 하고 있다. 여기서 콘크리트 콘 저항은 언더컷 앵커의 특성 저항 계산에 기초가 된 수식(1)에 따라 계산된 것이다.

$$N_{r,exp} = 15.5/1000 \sqrt{f_c} \cdot h^{\frac{1.5}{d}} \quad (\text{kN}) \quad (1)$$

대부분의 경우에  $N_{u,exp}$ 는 CEB2 또는 별첨 5의 C에 따라 감소 계수  $A_{c,NA}^{\circ}$  나  $\phi_{s,N}$ 이 곱해져야 한다. 이러한 감소 계수는 작은 연단거리와 앵커간 거리를 고려한 것으로서, 그 값은 이러한 앵커나 그룹 앵커  $N_{u,m}$ 의 극한 하중 값이 된다.  $\chi_{ij}$ 는 콘크리트 콘 파괴에 대한 측정된 파괴 하중과 평균 예상 값과의 비율이다.

강재의 스틸 파괴가 발생된 경우, 그 비율은 계산되지 않았다. 왜냐하면 스틸 파괴에 대한 저항 하중이 콘크리트 콘 저항보다 낮았기 때문이다. 그 비율은 다른 파괴모드가 나타나는 2개의 테스트에서는 계산되었다.

시험에서 콘크리트 콘 저항에 도달되는 것을 보여 주고, 그 요건이 만족되는 결과를 확인할 수 있는 것은 계수  $\chi_{ij}$ 가 변동을 15%에서 1의 값 주변에 분포되어 있는 것으로서 분명히 확인할 수 있다.

결론적으로, 얇은 모재 두께가 갈라지는 것은 HDA 언더컷 앵커에 대해서는 결정적인 것은 아니라고 말할 수 있다. 콘크리트 콘 저항의 계산에 필요한 모든 모서리 거리 ( $C_{cr,N}$  and  $C_{min}$ ) 그리고 앵커 간격 ( $S_{cr,N}$  and  $S_{min}$ )은 승인 서류로부터 얻을 수 있다.

### 6. 전단 하중하에서 앵커의 하중능력

응력 중심 거리가 없는 전단 하중 하에서 앵커 전단 파괴에 대한 언더컷 앵커

M12의 설계 저항  $V_{Rd,s}$ 은 24 kN이다. 이것은 CEB2에 따라 계산된 10 mm 직경(17.2 kN)과 13 mm의 직경(29.1 kN)의 헤드 스테드 사이에 대한 것이다. 그 계산에서는 언더컷 앵커 보다 헤드 스테드의 재료 성능이 낮다는 점이 고려되어야 한다. 이것은 또한 부분 안전 계수에 영향을 미친다. 반면에  $V_{Rd,s}$ 의 계산에서 더 높은 계수(0.6 대신에 0.75)가 헤드 스테드에 대하여 사용 될 수 있다. 왜냐하면 스테드의 용접 과정이 전단 저항 성능에 유리하게 작용을 하기 때문이다. 결과적으로 헤드 스테드와 언더컷 앵커는 스테드와 볼트의 직경이 같을 때, 대체로 같은 설계 저항임을 보여 주고 있다. 이것은 응력 중심 거리가 있는 전단 하중에 대해서도 두 앵커에 대해 같은 규정이 방식의 적용이 가능하다는 것을 의미한다.

Pry-out 파괴(전단 하중 작용 시 앵커가 약간 뽑히면서 앵커 뒤쪽의 콘크리트를 들고 일어나는 파괴 형태)에 대해서도 헤드 스테드와 언더컷 앵커에 동일하게 적용할 수 있다. 왜냐하면 Pry-out 저항력은 인장 하에서 콘크리트 콘 저항 성능을 기본으로 하고 있으며 두 앵커의 콘크리트 콘 저항 성능이 같기 때문에 Pry-out 저항 능력은 동일하다고 볼 수 있다.

콘크리트 연단 파괴에 대한 앵커 설계는 같은 수식과 부분 안전 계수를 근거로 하고 있다. 단지 다른 것은  $V_{Rk,c}$ 에 대한 수식에 있어서 수정 계수  $I_f$ 가 있다는 것이다. 그 값은 언더컷 앵커에 대한 승인 서류에 주어지고 있으며 직경 M16에 대해서는 설치 깊이의 50% 그리고 M10, 12에 대해서는 설치 깊이의 70%이다.

헤드 스테드의 경우, 설계기준 CEB2에서는  $I_f$  조건에 대해서 어떤 값도 언급하지 않고 있다. 따라서  $I_f = h_{ef}$ 로 가정한다.  $V_{Rk,c}$ 의 공식에서는  $I_f$  계수는  $(I_f/d_{nom})^{0.2}$

에 포함되어 있다. 따라서 헤드 스테드와 언더컷 앵커에 대한  $V_{Rk,c}$ 의 차이점은 비교적 작다.

결론적으로 전단하중에서 헤드 스테드와 언더컷 앵커는 설계저항의 계산에서, CEB2.5 Annex C의 수식을 따른다고 할 수 있으며, 단지 다른 것은 앵커의 강성, 볼트 스테드의 직경 그리고 강재의 강도와 연관되어 있다. 다른 파괴 형태에 관한 설계 저항에 있어서도 헤드 스테드와 선택된 언더컷 앵커의 차이점은 크지 않다. □

### 참고문헌

1. ISO 13918, 'Welding-Studs and ceramic ferrules for arc stud welding,' 1998.
2. CEB Bulletin d'information No. 226, 'Design of fastenings in concrete,' 1995.
3. European Technical Approval ETA-99/0009, 'Hilti HDA Anchor,' 1999.
4. Bautechnische Versuchsanstalt an der HTL Rankweil: 'Prüfbericht über Zugversuche mit HDA-P M10, M12nd M16, ungerissener Beton C 20/25, Einzel- und Doppelbefestigungen in dünnen Platten,' vom 30. 3. 2001. (only in German, not published)