



후설치 앵커의 연성 거동

Ductile Behavior of Post-installed Anchor

조경호 Kyung-Ho Cho
힐티코리아(주) 에너지부 부장

송근택 Geun-Taeck Song
힐티코리아(주) 기술부 이사

1. 후설치 앵커의 종류

구조재로 흔히 쓰이고 있는 후설치 앵커에는 확장식 앵커와 언더컷 앵커가 있으며, 대부분의 국내 건설 현장에서는 확장식 앵커가 사용되고 있다. 확장식 앵커는 토크가 가해지면 앵커 선단의 슬리브가 콘을 따라 확장하게 되는데 이때 생기는 콘크리트와의 마찰을 통해 외력에 저항한다. 반면 언더컷 앵커는 확장식 앵커와 달리 마찰이 아닌 걸림력(Keying)에 의해 외력에 저항을 한다. 언더컷 앵커는 미리 콘크리트 홀 하부를 넓게 천공한 뒤 앵커를 설치하기도 하고, 천공된 홀에 기계적 힘으로 앵커를 회전시켜 앵커 끝단이 콘크리트 하부를 추가 천공하면서 설치하기도 한다. 두 가지 모두 매립 앵커와 같이 걸림력에 의해 저항하는 타입이다.

각 앵커 타입별로 외력에 저항하는 콘크리트 내의 응력 분포를 보면 확장식 앵커가 넓은 콘크리트 면에 응력이 가해지는 반면 언더컷 앵커와 매립 앵커는 응력이 좁게 분포되어 하중 전달에 효율적이라고 할 수 있다(그림 1).

2. 확장식 앵커와 언더컷 앵커의 거동 비교

확장식 앵커가 인장을 받으면 뽑힘 파괴나 콘크리트 파괴를 보인다. 언더컷 앵커는 매립 앵커와 같이 대부분의 경우 콘크리트 파괴가 나타나며, 고강도 콘크리트에서는 강재 파괴가 나타나기도 한다. 후설치 앵커를 연단 가까이 설치하거나 다수의 앵커를 설치할 경우 고강도 콘크리트에 설치되더라도 콘크리트 저항 성능의 감소로 인해 강재 파괴가 나타

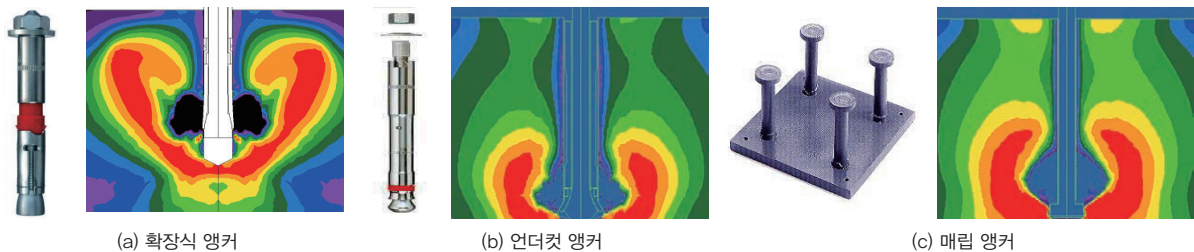


그림 1. 각 앵커 타입별 콘크리트에서의 응력 분포

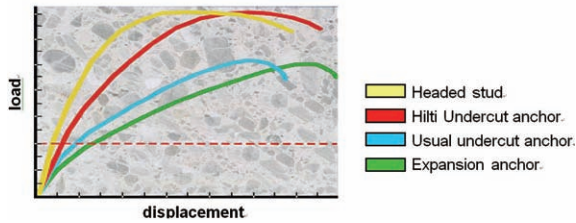


그림 2. 각 앵커 타입별 거동 비교

나지는 않으며 취성 파괴의 양상을 보이게 된다.

미국이나 우리나라의 앵커설계 규정에서 지진구역에 사용하는 앵커는 연성 설계를 하도록 하고 있다. 하지만 앵커의 성능에서 취성 파괴가 지배적인 경우 앵커의 성능을 감소시켜 지진구역에 반영하도록 정하고 있다. 연성 앵커는 별다른 성능의 저감 없이도 사용이 가능하므로 내진 설계에서 이점이 있다고 볼 수 있다(그림 2).

3. 연성 앵커

앵커는 일반적으로 뽑힘이나 콘크리트 콘 성능에 비해 높은 강재 성능을 가지고 있다. 연성 앵커가 되기 위해서는 강재의 저항성능이 지배적이어야 하는데, 후설치 앵커에서는 매우 어려운 일이다. 가끔 고강도 콘크리트에 설치된 확장식 앵커나 언더컷 앵커에서 강재 성능이 가장 낮은 값으로 나타나기도 한다. 그러나 연성 앵커는 어떠한 조건에서도 연성 거동을 해야 하므로 앵커의 재료 강도를 낮추는 것이 필요하다. 또한 ACI 규정에서는 연성 강재를 위한 재료 조건으로 연신율이 14% 이상이며, 단면 감소율이 30% 이상이 될 것을 요구하고 있다.

위 조건을 충족하기 위해 기존 언더컷 타입의 앵커에 볼트 부분의 재료를 고강도 강재가 아닌 일반 강재를 사용하여 연성 파괴가 지배적인 거동이 되도록 유도하였다. <표 1>은 수정된 앵커의 재료 시험 결과이며, 규정에서 요구하는 연신율과 단면 감소율의 조건을 모두 만족하고 있다.

4. 연성 앵커의 성능 검증

앞에서와 같이 재료가 연성 조건을 충족하더라도 콘크리트에 설치된 앵커가 실제로 연성 거동을 하는지에 대해서는 콘크리트에서의 성능 시험을 통해 검증을 해야 한다. 성능시험에는 앵커 성능의 기준이 되는 기준시험

표 1. 연성 앵커의 재료 성능

볼트 부분				기타 부분			
인장 강도	항복 강도	연신율	단면 감소율	인장 강도	항복 강도	연신율	단면 감소율
487	328	35	81	865	776	16	36
490	314	34	81	865	767	16	41
493	305	34	79	876	776	16	35
470	339	37	82	886	817	16	39
474	318	37	81	860	780	16	37
472	326	36	82	883	807	16	38
456	325	40	81	844	787	15	39
461	305	40	80	841	776	16	43
459	293	41	80	846	780	16	38

(Reference test)과 시공 정밀도나 장기간 사용 등으로 인한 앵커 성능의 신뢰성을 확인하기 위하여 신뢰성 시험(Reliability test) 그리고 앵커를 적용하는 여러 조건, 즉 그룹 앵커 상태, 콘크리트 연단에 설치한 경우 또는 지진 하중 등에서의 앵커 성능을 평가하기 위한 사용조건 시험(Service condition test)이 있다.

모든 시험에서 앵커는 강재 파괴의 양상을 나타내어야 한다. 특히 저항도 균열 콘크리트 상태에서 후설치 앵커는 뽑힘이나 콘크리트 파괴의 양상이 나타나기가 쉽다. 또한 균열 폭이 주기적으로 변하는 콘크리트에 설치되어 장기적으로 사용될 경우 앵커가 뽑히지 않고 강재 파괴가 지배적이기는 더욱 어렵다.

시험 결과 모든 조건에서 본 연성 앵커는 강재 파괴의 양상을 나타내었다. 여기서 시험 결과를 모두 소개하기에는 어려움이 있으며, 저항도 균열 콘크리트 조건, 반복 균열의 조건 및 지진 하중 조건에서의 결과만을 간략히 수록하였다.

4.1 시험 장비

시험 장비는 ACI355.2 의 각 시험항목들을 모두 수행하기에 적합한 장비들을 사용하였다. 시험에는 가력을 위한 유압장비와 하중과 변위값이 지속적으로 모니터링 되고 저장 가능한 변환 장치를 사용하였다(사진 1~3).

4.2 시험 조건의 수행

- 1) 균열콘크리트 상태 : 설치된 앵커 양 쪽에 추가로 홀



사진 1. 인장시험



사진 2. 반복 균열시험



사진 3. 지진 하중시험

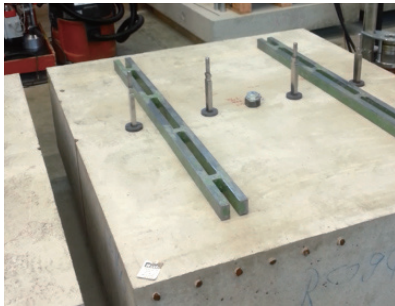


사진 4. 균열콘크리트 상태

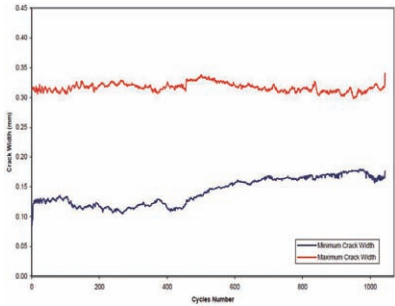


그림 3. 반복균열 상태

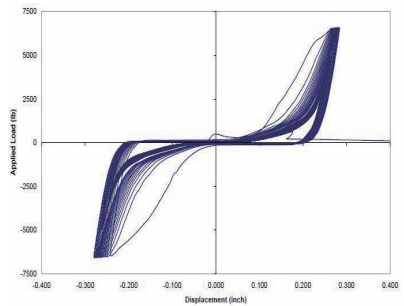


그림 4. 전단 지진 이력

을 천공한 뒤 썰기 철물을 타격, 삽입하여 앵커 주위로 균열을 생성시킨다.

- 2) 반복 균열 상태 : 균열 폭을 최소 0.1에서 최대 0.3mm 크기로의 확장을 반복하면서 1,000회의 반복균열을 가한다. 반복 균열 도중에 일정 크기의 인장력을 앵커에 지속적으로 가한다.
- 3) 전단 지진 상태 : 앵커 전단성능의 50% 크기로 10회, 37.5% 크기로 30회, 25% 크기로 100회의 반복하중을 '+/-' 양방향으로 가한다(사진 4, 그림 3, 4).

4.3 시험 결과

위 시험 조건이 모두 수행된 이후 정적 하중시험을 통해 파괴 양상 및 앵커의 잔여 하중을 확인한다. 시험 결과 모든 앵커가 큰 변형을 나타내면서 연성 강재파괴의 양상을 나타내었다. 잔여 하중의 확인은 상기의 조건하에서 앵커 성능 감소의 크기를 확인하기 위해 수행하며 모든 시험에서 앵커는 강재 파괴를 보이면서 성능의 감소는 일어나지 않았다(그림 5~7).

5. 연성 앵커의 설계 비교

상기의 검증 시험을 통해 앵커의 연성 거동이 확인된

경우 앵커 설계 시 연성 앵커로서의 적용이 가능해 진다. 아래와 같이 설계하중의 비교를 통해 일반 앵커와 연성 앵커의 성능 차이를 확인할 수 있다(표 2).

앵커의 설계하중은 강재의 성능과 콘크리트의 성능 그

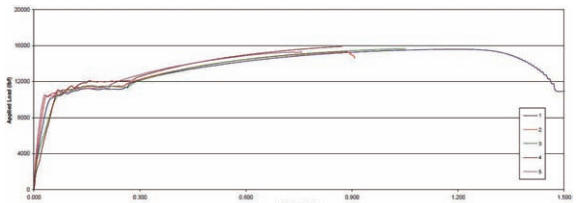


그림 5. 저강도 균열 콘크리트에서의 인장시험 결과

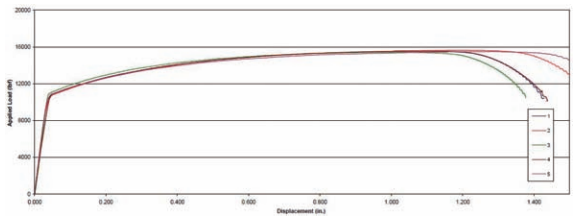


그림 6. 반복 균열 조건에서 인장시험 결과

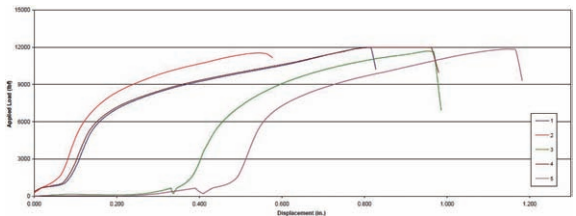


그림 7. 지진 하중 조건에서 전단시험 결과

표 2. 연성 앵커의 설계하중 산정

	<p>설치조건</p> <p>$h_{ef} = 100 \text{ mm}$</p> <p>콘크리트 강도 : $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$</p> <p>콘크리트 두께 : 200 mm</p> <p>앵커간격 : 5" (125 mm)</p> <p>모서리거리 : 5" (125 mm)</p> <p>균열콘크리트 상태</p>	
앵커 성능 계산	연성 앵커	일반 앵커
1. 앵커의 강재 성능 계산 : $\phi N_s = \phi A_{se} f_{uts}$, $\phi = 0.8$	37.16 kN	74.24 kN
2. 앵커의 콘크리트 저항 성능 계산 : $\phi N_{cbg} = \frac{A_N}{\phi A_{NO}} \psi_1 \psi_2 \psi_3 N_b$	-	-
모서리 거리, 연단거리의 확인 : $S_{min} = 100 < 125$, $C_{min} = 80 < 125$	적합	적합
투영면적 계산 : $A_{NO} = 9h_{ef}^2 = 90,000 \text{ mm}^2$ $A_N = (1.5h_{ef} + C)(3h + S) = 113,975 \text{ mm}^2$	-	-
계수 : $e'_N = 0$, $\therefore \psi_1 = 1.0$, $\psi_2 = 0.7 + 0.3 \frac{c}{1.5h_{ef}} = 0.95$, $\psi_3 = 1.0$	-	-
단일 앵커의 콘크리트 성능 : $N_b = k \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5} = 1.0 \times 20 \times 100^{1.5} = 44.75$	-	-
콘크리트 성능 계산 : $\phi N_{cbg} = 0.75 \times \frac{116,875}{90,000} \times 1.0 \times 0.95 \times 1.0 \times 44.72 = 41.38 \text{ kN}$	41.38 kN	41.38 kN
3. 뿔힘 성능의 계산 : 뿔힘 파괴 발생하지 않음	해당 없음	해당 없음
4. 연성 거동의 확인	연성 거동	취성 거동
5. 설계하중 산정: 앵커가 취성 거동일 경우 감소 계수(0.6) 적용	37.16 kN	24.83 kN

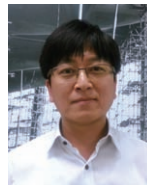
리고 뿔힘 성능 중에서 가장 작은 값으로 한다. 검토 대상인 언더컷 타입의 앵커는 뿔힘 파괴 양상이 나타나지 않으므로 앵커의 뿔힘 성능은 고려하지 않았다.

위 계산에서 연성 앵커는 강재 성능이 지배적이므로 별도의 성능 감소 없이 강재 성능을 설계하중 값으로 하는 것이 가능하나 일반 앵커의 경우 콘크리트 성능이 지배적인 취성 파괴의 양상이므로 규정에서 정하는 감소 계수를 적용한 값을 앵커의 설계하중 값으로 하여야 한다.

6. 맺음말

앞에서 본 바와 같이 연성 앵커는 접합부의 연성 설계가 요구되는 지진 구역에 앵커 적용 시 큰 장점을 가지고 있다. 아울러 본 검토에 사용된 연성 앵커는 매립 앵커와 가장 유사한 거동을 나타내며, 후설치 앵커의 시험 조건을 모두 충족하고 있으므로 향후 후설치 앵커의 적용을 고민하는 건설 기술자들에게는 좀 더 신뢰할 수 있고 기술적으로도 용이한 앵커가 될 수 있을 것으로 기대한다.

담당 편집위원 : 김재홍(울산과학기술대학교) jaekim@unist.ac.kr



조경호 부장은 인하대학교 건축공학학과에서 구조공학 석사학위를 취득하였다. 건축구조기술사이며, 현재 힐티코리아(주) 에너지 부서에서 근무하고 있다. 주 업무 분야는 발전, 에너지 및 산업설비 분야에 대한 앵커 기술의 적용 등이다.

kyungho.cho@hilti.com



송근택 이사는 한국해양대학교 기계공학과에서 박사학위를 취득하였다. 현대그룹(현대알루미늄공업(주), 고려산업개발(주))에서 근무하였으며, 동국대학교 대학원 기계공학과 겸임교수를 역임하였다. 2001년에 힐티코리아(주) 기술부에 입사하여 현재 기술이사로 근무하고 있다. 주 관심 연구분야는 앵커의 동적 특성(피로, 지진, 충격) 및 철근의 이음과 정착 등이다.

geuntaeck.song@hilti.com