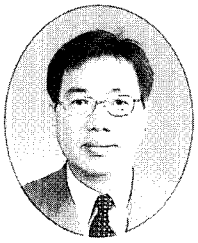
특 집

‖ACI 318 Code 주요 개정내용 분석‖

콘크리트 앵커

- Anchoring to Concrete -



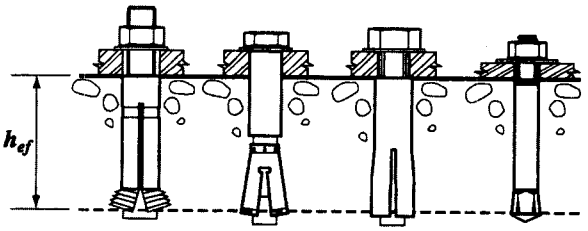
김진근* *Kin, Jin Keun*　　김윤용** *Kim, Yun Yong*　　김진용*** *Kim, Chin Yong*

1. 서 론

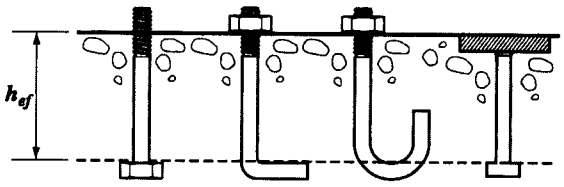
이 장은 콘크리트에 매입되어 인장력, 전단력, 혹은 그 둘의 상호작용에 의하여 하중을 전달하는 앵커 구조를 설계할 때에 요구되는 사항을 규정한 것이며 시공단계보다는 사용단계에서의 안전을 확보하는 데에 그 목적을 두고 있다.

이 장에서 규정하는 사항은 〈그림 1〉에서 보는 바와 같이 타설할 때 매입하는 앵커인 현장매입 앵커(cast-in anchor)와 굳은 콘크리트에 설치하는 앵커인 후삽입 앵커(post-installed anchor) 모두에 적용이 가능하나 특수한 장치들(여러개의 앵커 단부들을 연결시킨 후 매입되는 강철판, 접착 혹은 그라우트를 사용한 앵커, 직접 관입시킨 앵커)은 그 종류가 너무 다양하기 때문에 고려 대상에서 제외시켰다. 헤디드스터드(headed stud)나 헤디드볼트(headed bolt)는 실험을 통하여 비균열 콘크리트에서 인발강도(pull-out strength)가 $1.4N_p$(N_p: 균열 콘크리트에서 인장력을 받는 앵커의 인발강도) 이상인 것으로 검증된 것만 포함시켰으며, 후크볼트(hooked bolt)도 마찰력의 도움 없이 비균열 콘크리트에서 인발강도가 $1.4N_p$ 이상으로 검증된 것만 포함시켰다. 그리고 후삽입 앵커는 ACI 355.2의 평가기준을 만족하는 것만 포함시켰다.

피로나 충격하중에 대한 것은 이 장에서 고려하지 않았으나 지진하중에 대한 것은 포함되어 있다.



(a) 후삽입 앵커



(b) 현장매입 앵커

그림 1 앵커의 종류

2. 일반적인 요구사항

2.1 일반사항

앵커의 강도가 콘크리트의 파괴에 의해 좌우되는 경우에는 매우 취성적인 거동을 보이며 부재들간의 하중 재분배가 거의 발생

* 정회원, 한국과학기술원 건설환경공학과 교수
** 정회원, 한국과학기술원 건설환경공학과 연구교수
*** 정회원, 한국과학기술원 건설환경공학과 박사과정

하지 않는다. 따라서 이러한 경우에는 계수하중을 적용시킨 탄성해석을 통해 위험부위를 산정하고 이에 대해 단독 앵커나 그룹 앵커가 안전하도록 설계하여야 한다. 그러나 앵커의 강도가 연성인 강재 요소에 의해 좌우되는 경우에는 많은 양의 하중 재분배가 발생하기 때문에 탄성해석으로 설계하면 매우 과다설계가 될 우려가 있다. 따라서 이 경우에는 변형적합조건을 이용한 소성해석이 허용된다.

2.2 지진하중

앵커가 지진하중에 노출되는 경우에는 다음과 같은 요구사항들을 추가적으로 만족하여야 한다.

① 지진하중이 작용하는 경우, 콘크리트 구조물의 소성힌지에 위치한 앵커의 설계에는 이 장의 규정을 적용할 수 없다.

② 중·강진 지역의 경우, 후삽입 앵커는 ACI 355.2의 "모의 지진시험(Simulated Seismic Test)"을 통과한 것만 사용할 수 있다.

③ 중·강진 지역의 경우, 앵커의 설계강도는 $0.75\phi N_n$, $0.75\phi V_n$으로 취하여야 한다. 이 때, ϕ는 3절에서 규정한 강도감소계수이며, N_n은 앵커의 공칭인장강도, V_n은 앵커의 공칭전단강도이다.

④ 중·강진 지역의 경우, 앵커의 강도는 연성인 강재 요소의 인장 및 전단강도에 좌우되도록 설계하거나, 혹은 앵커와 구조물을 연결하는 연결장치(attachment)가 ③에서 규정한 설계강도에 이르기 전에 항복하도록 설계하여야 한다.

또한, 지진하중이 작용하는 경우에는 전단력의 방향을 예측할 수 없으므로 단면의 모든 방향에 대해 최대 전단력을 견딜 수 있도록 설계하여야 한다.

2.3 콘크리트 강도 수정

이 장에 나타난 앵커의 인장 및 전단강도에 대한 규정들은 보통중량콘크리트에만 적용되며 경량골재가 사용되는 경우에는 N_n 및 V_n를 계산할 때 사용되는 $\sqrt{f_c'}$를 수정해 주어야 한다. 전경량골재콘크리트의 경우에는 $\sqrt{f_c'}$ 대신 $0.75\sqrt{f_c'}$를 사용하고 모래경량골재콘크리트의 경우에는 $0.85\sqrt{f_c'}$를 사용한다. 모래 중 일부만 경량골재를 사용한 경우에는 선형보간을 사용해서 $\sqrt{f_c'}$의 계수를 결정해도 좋다. 그리고 이 장에서 계산을 위해 사용한 f_c' 값은 현장매입 앵커의 경우에는 69 MPa를 넘을 수 없고, 후삽입 앵커의 경우에는 55 MPa를 넘을 수 없다. f_c' 값이 55 MPa 이상인 콘크리트에 후삽입 앵커를 사용하는 경우에는 별도의 시험이 필요하다.

3. 앵커의 강도에 대한 요구사항

3.1 일반사항

앵커의 강도설계는 이 절의 요구조건을 만족하는 설계모델을 이용해서 계산하거나 〈그림 2〉에서 보이는 다음과 같은 파괴모드에 대해 직접적으로 실험한 결과들의 5% fractile(모집단의 표본을 크기 순으로 늘어놓았을 때 전체 결과의 5%가 이 값보다 작음)에 근거하여 수행하여야 한다.

① 앵커의 강재 인장강도
② 앵커의 강재 전단강도
③ 인장력을 받는 앵커의 콘크리트 탈락(breakout)강도
④ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 탈락강도
⑤ 인장력을 받는 앵커의 인발강도
⑥ 인장력을 받는 앵커의 콘크리트 blowout 강도
⑦ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 pryout 강도

또한, 앵커의 쪼갬파괴를 막기 위해서 가장자리와의 거리, 앵커간의 간격 그리고 두께에 대한 요구조건도 만족하여야 한다.

3.2 설계 기본 사항

앵커의 설계에 대한 기본적인 식은 다음과 같다.

$$\phi N_n \geq N_u \quad (1)$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2)$$

여기서, ϕ : 강도감소계수

N_n : 모든 파괴 모드에 대하여 계산된 공칭인장강도들 중의 최소값

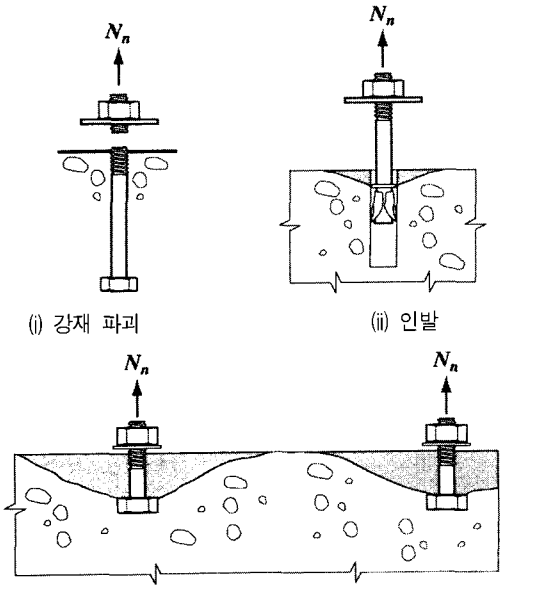
V_n : 모든 파괴 모드에 대하여 계산된 공칭전단강도들 중의 최소값

N_u : 계수인장력

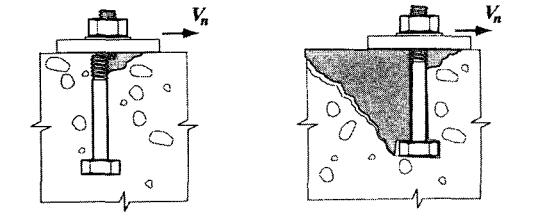
V_u : 계수전단력

이 때, N_u와 V_u가 동시에 존재하는 경우에는 상호작용에 따른 영향을 고려하여야 한다.

단독 앵커 혹은 그룹 앵커의 공칭강도는 종합적인 실험결과와 거의 일치하는 강도값을 주는 합리적인 설계모델에 근거하여 계산되어야 한다. 이 때 실험에 사용되는 재료는 실제 구조물에 사용되는 재료와 유사한 것이어야 하며, 공칭강도는 앵커 하나마다 각각 측정된 강도값들의 5% fractile을 이용해서 구한 값으로 한다. 콘크리트의 강도와 관련된 공칭강도를 구할 때에는 크기효과에 따른 보정, 앵커 개수, 앵커 간격의 영향, 가장자리와의 거리, 콘크리트 부재의 깊이, 그룹 앵커에 걸리는 하중의 편심 그

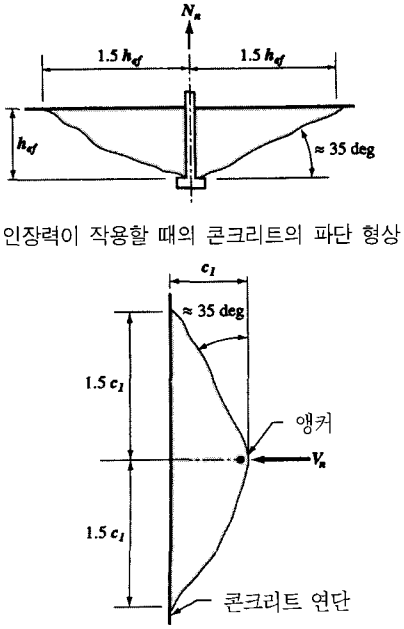


(a) 인장력



(b) 전단력

그림 2. 앵커의 파괴 모드



(a) 인장력이 작용할 때의 콘크리트의 파단 형상

(b) 전단력이 작용할 때의 콘크리트의 파단 형상

그림 3. CCD에 근거한 콘크리트의 파단 형상

리고 균열유무를 고려해 주어야 한다. 설계모델에서 규정하는 가장자리와의 거리, 앵커 간격의 한계치는 그 모델을 검증한 실험과 일관되는 것이어야 한다. 또한, 콘크리트의 탈락을 제한하거나 구속하기 위한 목적으로 배치하는 추가 보강재의 효과를 고려한 설계모델도 사용 가능하다.

지름이 50 mm를 넘지 않으면서 인장 매입깊이가 635 mm를 넘지 않는 앵커에 대해 4절과 5절의 설계방법을 적용하면 콘크리트의 탈락강도에 대한 요구조건은 만족하는 것으로 간주한다. 콘크리트의 탈락강도는 Concrete Capacity Design(CCD) 방법을 이용하여 결정하며, 이 때에 기본적인 가정은 〈그림 3〉에 도시한 바와 같이 콘크리트의 파단면이 약 35°의 기울기를 갖는다는 것이다.

인장력과 전단력이 동시에 작용하는 경우에는 종합적인 실험결과와 거의 일치하는 강도값을 주는 상호작용 관계식을 적용하여 설계에 고려하여야 하며, 이러한 요구조건은 6절의 인장-전단 상호관계에 대한 조항에 의하여 만족하는 것으로 간주한다.

표 1. ACI 9.2절의 하중조합이 사용되는 경우 콘크리트 앵커의 강도감소계수

조건 / 하중	(I)앵커의 강도가 연성 강재 요소에 의해 좌우되는 경우	(II)앵커의 강도가 취성 강재 요소에 의해 좌우되는 경우	(III)앵커의 강도가 콘크리트의 탈락, blowout, 인발 혹은 pryout 강도에 좌우되는 경우	
			A*	B*
인장력	0.75	0.65	〈표 2〉	〈표 2〉
전단력	0.65	0.60	0.75	0.70

* A는 콘크리트의 균열 예상 부위에 추가 보강재를 설치하여 균열이 발생하여도 균열 부위가 구조적인 역할을 계속할 수 있도록 조치한 경우이며, B는 아무런 추가 보강재를 설치하지 않았거나 인발, pryout 강도가 앵커의 강도를 좌우하는 경우이다.

표 2. <표 1> 경우 III의 인장력에 대한 강도감소계수

앵커 종류		A	B
현장매입 헤디드스터드, 헤디드볼트 혹은 후크볼트		0.75	0.70
후삽입 앵커 (종류는 ACI 355.2에 따라 분류)	종류 1(설치작업에 덜 민감하고 높은 신뢰성을 가지는 경우)	0.75	0.65
	종류 2(설치작업에 민감하고 보통의 신뢰성을 가지는 경우)	0.65	0.55
	종류 3(설치작업에 매우 민감하고 낮은 신뢰성을 가지는 경우)	0.55	0.45

표 3. ACI 부록 C의 하중조합이 사용되는 경우 콘크리트 앵커의 강도감소계수

조건 / 하중	(I)앵커의 강도가 연성 강재 요소에 의해 좌우되는 경우	(II)앵커의 강도가 취성 강재 요소에 의해 좌우되는 경우	(III)앵커의 강도가 콘크리트의 탈락, blowout, 인발 혹은 pryout 강도에 좌우되는 경우	
			A*	B*
인장력	0.80	0.75	〈표 4〉	〈표 4〉
전단력	0.75	0.65	0.85	0.75

* A, B는 표〈3.1〉에서 설명한 것과 동일하다.

표 4. <표 3> 경우 III의 인장력에 대한 강도감소계수

앵커 종류		A	B
현장매입 헤디드스터드, 헤디드볼트 혹은 후크볼트		0.85	0.75
후삽입 앵커 (종류는 ACI 355.2에 따라 분류)	종류 1(설치작업에 덜 민감하고 높은 신뢰성을 가지는 경우)	0.85	0.75
	종류 2(설치작업에 민감하고 보통의 신뢰성을 가지는 경우)	0.75	0.65
	종류 3(설치작업에 매우 민감하고 낮은 신뢰성을 가지는 경우)	0.65	0.55

콘크리트 앵커의 강도감소계수는 사용한 하중조합에 따라 다르게 적용하며 구체적인 값은 〈표 1, 2, 3, 4〉와 같다.

4. 인장설계

4.1 앵커의 인장강도

앵커 자체의 공칭인장강도 Ns는 앵커의 재료 및 크기에 따라 결정되며, 식(3)과 같다.

$$N_s = nA_{se}f_{ut} \qquad (3)$$

여기서, f_{ut}는 $1.9f_y$ 또는 862 MPa 이하이어야 한다. 이 조항을 따라 f_{ut}를 정할 경우 실제 사용하중 하에서 앵커는 항복강도 f_y 이하의 응력을 받게 된다. 왜냐하면 ACI '02 설계기준 9.2 절의 하중계수는 1.2D + 1.6L로부터 평균 1.4이며, 인장에 대한 가장 큰 강도감소계수가 0.75로서 $f_{ut}/f_y \fallingdotseq 1.4/0.75 =$ 1.87이다. 그리고 부록 C의 하중계수는 1.4D + 1.7L로부터 평균 1.55 정도이며, 인장에 대한 가장 큰 강도감소계수는 0.8로서 이 또한 1.55/0.8 = 1.94이므로 1.9 정도이면 사용하중을 받을 때 항복강도 이하의 응력이 작용하기 때문이다.

4.2 콘크리트의 파단강도

〈그림 4〉와 같은 콘크리트가 파괴됨으로써 저항할 수 있는 인장강도는 앵커가 단독으로 있을 때 N_{cb}, 그룹으로 있을 때 N_{cbg}이며, 다음의 식(4), (5)와 같다.

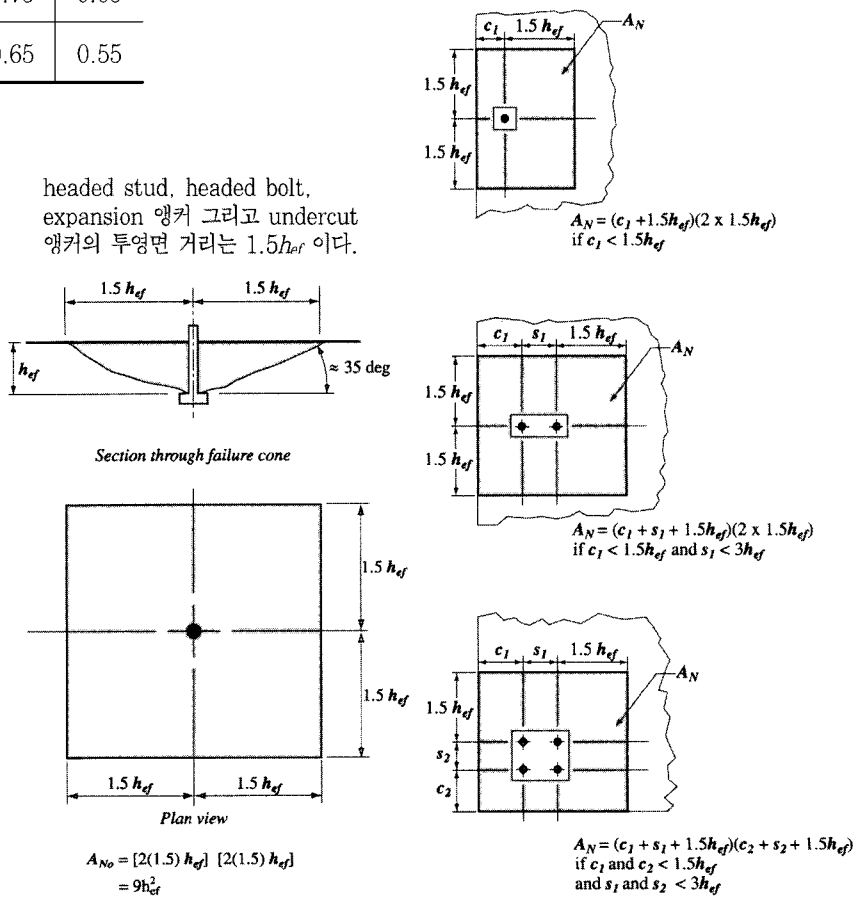
단독 앵커 :

$$N_{cb} = \frac{A_N}{A_{NO}}\psi_2\psi_3 N_b \qquad (4)$$

그룹 앵커 :

$$N_{cbg} = \frac{A_N}{A_{NO}}\psi_1\psi_2\psi_3 N_b \qquad (5)$$

파단면(failure surface)의 투영면적을 나타내는 A_N은 앵커의 중심선으로부터 $1.5h_{ef}$ 떨어wu 있는 직선으로 둘러싸인 면적을



(a) A_{No}의 계산 (b) 단독 앵커와 그룹 앵커의 투영면적 A_N의 계산

그림 4. 인장을 받는 앵커에 의한 콘크리트 파단면의 투영면적을 계산하는 방법

나타낸다. 그룹 앵커의 경우에 A_N은 nA_{No}를 초과할 수 없다. 여기서 n은 그룹 앵커에서 인장력을 받는 앵커의 개수를 나타내고 A_{No}는 단독 앵커 파괴면의 최대 투영면적으로서 〈그림 4(a)〉에 도시한 바와 같이 계산되며, 다음의 식(6)과 같이 나타낼 수 있다. 한편, 그룹 앵커에서 콘크리트의 파단면에 대한 투영면이 서로 겹치는 경우에는 〈그림 4(b)〉에 나타낸 바와 같이 계산한다.

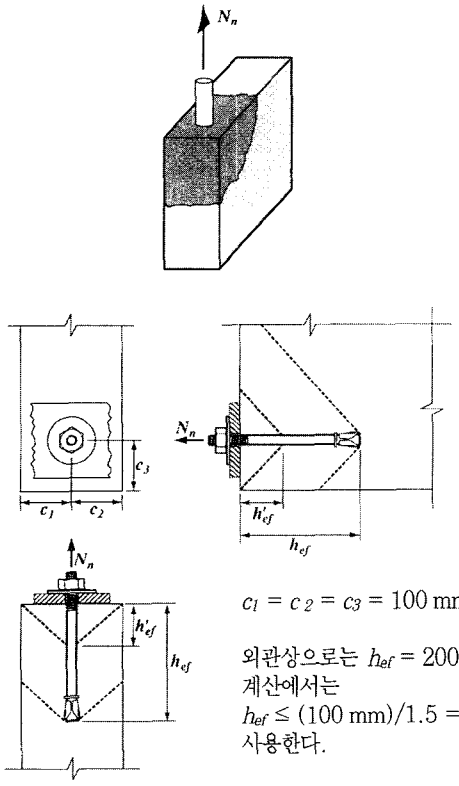
$$A_{No} = 9h_{ef}^{\ 2} \qquad (6)$$

4.2.1 콘크리트의 기본파단강도 N_b

콘크리트의 기본파단강도는 다음의 식(7)과 같이 계산한다.

$$N_b = k\sqrt{f_c'}\ h_{ef}^{\ 1.5} \qquad (7)$$

여기서, k는 현장매입 앵커에 대하여 10.3, 후삽입 앵커에 대하여 7.28의 값을 적용한다. 이 식은 파괴역학의 개념에 근거하여 콘크리트 파단각을 약 35°로 가정하고 산정한 것이다. 식(7)의 k 값은 비균열콘크리트에 대한 다수의 실험결과를 근거로 하여 정하였는데 비균열콘크리트의 실험결과에 대한 5% fractile을 기준으로 하여 균열콘크리트에 대한 k값을 결정하였다. 후삽입 앵커의 경우, ACI 355.2에 의거하여 품질시험을 거친 제품이라면 k값을 상향조정하여 적용할 수 있다. 다만, ACI 355.2에 따라 결정된 k 값을 사용할 때에는 Ψ_3의 계수값으로서 1.0을 취해야 한다.



$c_1 = c_2 = c_3 = 100$ mm인 경우

외관상으로는 $h_{ef} = 200$ mm이나 계산에서는 $h_{ef} \le (100\text{ mm})/1.5 = 67$ mm를 사용한다.

그림 5. 모서리에 위치한 앵커에 대한 h_{ef} 계산 예

이외에 헤디드스터드와 헤디드볼트를 $280\text{ mm} \le h_{ef} \le 635$ mm의 매입깊이로 설치하는 경우, 균열이 발생한 콘크리트에 위치한 각 앵커의 기본 콘크리트 파단강도 N_b는 다음의 식(8)과 같이 계산한다.

$$N_b = 3.8\sqrt{f_c'}\ h_{ef}^{\ 5/3} \qquad (8)$$

기존의 연구결과에 의하면 280 mm 이상으로 앵커를 깊게 설치한 경우에는 식(7)과 같이 $h_{ef}^{\ 1.5}$를 적용하는 것이 지나치게 안전측이기 때문에 $280\text{ mm} \le h_{ef} \le 635$ mm의 매입깊이로 앵커를 설치할 경우에는 $h_{ef}^{\ 5/3}$을 사용하도록 제안하였다.

4.2.2 모서리에 위치한 앵커에서 h_{ef}의 제한($c_{max}/1.5$)

〈그림 5〉와 같이 앵커의 주변에 있는 모서리에 의하여 투영면의 변 중에서 3개 또는 4개의 변장이 $1.5h_{ef}$보다 짧은 경우에는 식(6)에서 식(11)에 적용하는 h_{ef}의 최대값으로서 $c_{max}/1.5$를 사용하여야 한다. 앵커가 3개 이상의 모서리에 영향을 받을 경우에는 〈그림 4〉와 같이 앵커의 끝단으로부터 35° 각도의 파단면을 갖고서 인장파단강도를 예측하는 것은 옳지 못한 방법이다. 따라서 $c_{max}/1.5$의 한계값을 두었으며, 이 조항을 적용할 경우 〈그림 5〉의 하단에 도시한 바와 같이 h_{ef}가 하향 조정된다.

4.2.3 수정계수

(1) 편심하중을 받는 그룹 앵커에 대한 수정계수 Ψ_1

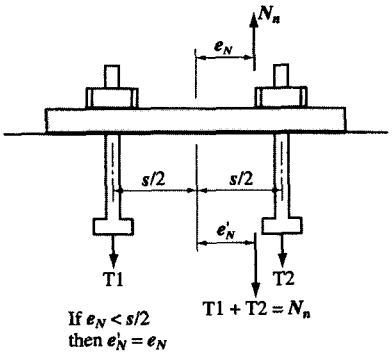
편심으로 하중이 재하되는 그룹 앵커에 대한 수정계수는 식(9)와 같다.

$$\Psi_1 = \frac{1}{(1+\frac{2e'_N}{3h_{ef}})} \le 1 \qquad (9)$$

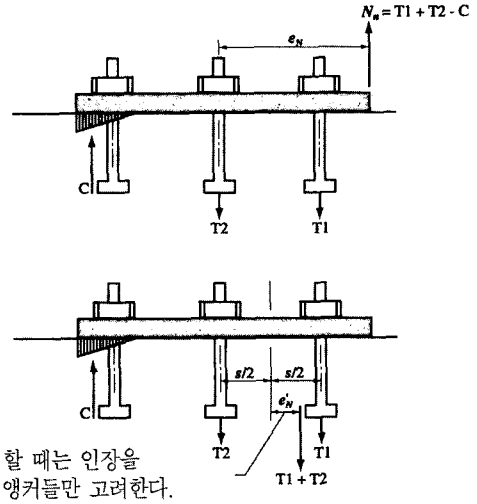
여기서 편심량은 $e'_N \le s/2$의 범위에 대하여 적용할 수 있다. 〈그림 6〉에 나타낸 바와 같이 그룹앵커가 편심을 받고 있는 경우에는 일부의 앵커만이 인장을 받는다. 따라서 식(9)에 적용되는 편심량 e'_N을 계산할 때에는 인장을 받는 앵커만을 고려하여야 한다. 또한 편심하중이 2축으로 작용하는 경우에 수정계수 Ψ_1은 각각의 축에 대하여 계산한 후 내적(product)에 의하여 결정된 값을 사용하여야 한다. 한편, 〈그림 6〉에서 (a)는 모든 앵커가 인장을 받는 경우, (b)는 일부의 앵커가 인장을 받는 경우에 대하여 각각의 편심량을 구하는 방법을 도시하고 있다.

(2) 모서리 효과(edge effect)에 대한 수정계수 Ψ_2

앵커가 부재의 모서리에 위치하여 앵커의 중심에서 모서리까지의



(a) 그룹 내의 모든 앵커가 인장을 받는 경우



(b) 그룹 내의 앵커들 중 일부만 인장을 받는 경우

그림 6. 그룹 앵커의 편심량 e'_N 을 결정하는 방법

거리가 $1.5h_{ef}$보다 짧은 경우의 수정감소계수 Ψ_2는 $0.7 + 0.3\frac{c_{min}}{1.5h_{ef}}$를 적용한다. 반면, 앵커의 중심에서 모서리까지의 거리가 $1.5h_{ef}$ 이상인 경우에는 $\Psi_2 = 1$을 적용한다.

(3) 비균열 콘크리트에 대한 수정계수 Ψ_3

해석결과에 의하여 사용하중단계에서 균열이 발생하지 않는 콘크리트에 앵커가 위치한 경우에는 현장매입 앵커에 대해 $\Psi_3 = 1.25$, 후삽입 앵커에 대해 $\Psi_3 = 1.4$를 각각 적용한다. 반면, 해석결과에 의하여 콘크리트에 균열이 발생하는 것으로 판명된 경우에는 $\Psi_3 = 1$을 적용한다.

4.2.4 플레이트 또는 와셔가 사용된 경우의 투영면적 수정

앵커의 헤드에 플레이트 또는 와셔가 사용된 경우에는 플레이트 또는 와셔의 유효 주변으로부터 $1.5h_{ef}$ 떨어진 거리까지를 콘크리트 파단면에 대한 투영면적으로 계산한다. 유효 주변은 앵커헤드의 외부 가장자리로부터 t(플레이트, 와셔의 두께)를 더한 위치 이내로 취한다.

4.3 앵커의 인발강도

앵커의 공칭인발강도 N_{pn} 은 식(10)과 같다.

$$N_{pn} = \Psi_4 N_p \qquad (10)$$

후삽입 앵커의 경우, N_p는 ACI 355.2에 따라 수행된 시험 결과의 5% fractile을 기준으로 정한다. 이 절에서 제시된 인발강도 제안식들은 현장매입 앵커에만 적용할 수 있으므로 다양한 메커니즘이 적용되는 후삽입 앵커의 경우에는 실험에 의하여 검증된 경우에만 이 절의 제안식을 사용할 수 있다.

단일 현장매입 헤디드스터드 또는 볼트의 경우에는 아래의 4.3.1에 의하여, 단일 J- 또는 L-볼트의 경우에는 아래의 4.3.2에 의하여 각각의 인발강도를 평가할 수 있다. 또한 마찰이 없는 것으로 가정하고 ACI 355.2에 따라 실험하여 인발강도를 평가할 수도 있다. 이 때에는 실험 결과 중에서 5% fractile에 해당하는 값을 N_p로 취한다. 한편, 헤드(head)부분에 스파이럴 등을 배근함으로써 헤디드스터드 또는 볼트의 인발강도를 증가시킬 수 있는데, 이 때의 증가량은 실험을 통하여 결정한다.

4.3.1 단독 헤디드스터드 또는 볼트의 인발강도 N_p

식(10)에 적용하는 단독 헤디드스터드 또는 볼트의 인발강도 N_p는 식(11)과 같다.

$$N_p = A_{brg} 8 f_c' \qquad (11)$$

식(10)의 인발강도는 앵커가 콘크리트로부터 완전히 뽑혀져 나오는데 필요한 힘이 아닌 앵커헤드 아래에 있는 콘크리트가 파쇄되기 시작하는 힘에 해당된다. 따라서 식(11)에는 매입깊이와 관련된 항이 포함되어 있지 않다. 일반적으로 앵커헤드의 아래에서 콘크리트의 국부 파쇄가 발생하여 연결강성이 급격히 감소하고, 이 때부터 인발파괴가 시작된다.

4.3.2 단독 후크볼트의 인발강도 N_p

식(10)에 적용하는 단일 후크 볼트의 인발강도 Np는 식(12)와 같다.

$$N_p = 0.9 f_c' e_h d_o \qquad (12)$$

여기서, $3d_o \le e_h \le 4.5d_o$ 이다.

후크볼트의 인발강도는 기존의 연구를 바탕으로 Lutz가 제안하였다. 후크볼트의 파괴는 우선 후크 안쪽 콘크리트의 파쇄에 의하여 연결강성이 급격히 감소하고, 이 때부터 인발파괴가 시작

된다. 따라서 후크에 의한 마찰은 무시하고 후크의 지압에 의한 저항만을 고려하여 인발강도를 제안하였다.

4.3.3 비균열 콘크리트에 대한 수정계수 Ψ_4

해석결과에 의하여 사용하중단계에서 균열이 발생하지 않는 콘크리트에 앵커가 위치한 경우에는 수정증가계수 $\Psi_4 = 1.4$를 적용할 수 있다.

4.4 헤디드 앵커에 의한 콘크리트 측면의 blowout 강도

연단에 가깝고 ($c < 0.4 h_{ef}$) 매입깊이가 깊은 단독 헤디드앵커의 공칭 blowout 강도는 식(13)과 같다.

$$N_{sb} = 13.7\, c\sqrt{A_{brg}}\sqrt{f_c'} \qquad (13)$$

여기서 연단과 직교방향의 거리 c_2가 3c보다 짧은 경우, $1 \le c_2/c \le 3$의 범위에 해당되는 경우에는 식(13)에 의하여 결정된 N_{sb} 값에 $(1+c_2/c)/4$를 곱한 값을 blowout 강도로 취하여야 한다. 한편, 연단에 가깝고 ($c < 0.4 h_{ef}$) 매입깊이가 깊은 그룹 헤디드앵커의 공칭 blowout 강도는 식(14)와 같다.

$$N_{sbg} = (1 + \frac{s_o}{6c})N_{sb} \qquad (14)$$

여기서 s_o는 연단과 평행하게 놓인 최외측 앵커들의 간격이고, N_{sb}는 연단 직교방향의 거리에 대한 보정을 하지 않은 값으로서 식(13)으로 직접 구할 수 있다. 다만 식(14)는 앵커 간의 간격이 $6c$ 보다 작게 배치된 그룹 앵커에만 적용할 수 있다.

측면 blowout에 대한 설계는 일반적으로 현장매입 헤디드앵커에 적용한다. 후삽입 앵커의 경우에는 blowout보다 설치 중에 발생되는 쪼개짐을 고려하는 것이 더욱 중요하다.

5. 전단설계

5.1 앵커의 전단강도

앵커 자체의 전단력에 대한 저항 능력은 인장력을 받을 때와 마찬가지로 앵커 재질과 크기에 좌우되며, 현장매입 또는 후삽이냐에 따라 앵커의 공칭전단강도 V_s 는 다음 식(15)에서 (17)에 따라 구할 수 있다.

(1) 현장매입 헤디드스터드 앵커

$$V_s = nA_{se}f_{ut} \qquad (17)$$

(2) 현장매입 헤디드볼트 앵커와 후크볼트 앵커

$$V_s = n(0.6A_{se})f_{ut} \qquad (16)$$

(3) 후삽입 앵커

$$V_s = n(0.6A_{se}f_{ut} + 0.4A_{sl}f_{utsl}) \qquad (17)$$

여기서, 모든 경우의 f_{ut}는 $1.9f_y$ 또는 862 MPa 이하이어야 한다. 그리고 built-up grout pad를 사용한 그룹 앵커에 대한 공칭강도는 위의 값에 0.8배를 한다.

5.2 콘크리트 파단에 의한 전단강도

5.2.1 단독 앵커 또는 그룹 앵커의 공칭전단강도

(1) 전단력이 단독 앵커의 연단에 수직으로 작용할 때 〈그림 7〉

$$V_{cb} = \frac{A_v}{A_{v0}}\Psi_6\Psi_7 V_b \qquad (18)$$

(2) 전단력이 그룹 앵커의 연단에 수직으로 작용할 때 〈그림 8〉

$$V_{cbg} = \frac{A_v}{A_{v0}}\Psi_5\Psi_6\Psi_7 V_b \qquad (19)$$

식(18)과 식(19)는 〈그림 7〉에 도시한 것과 같이 35°의 파단면을 이용한 CCD 방법에 근거하고 있다. 이 식들은 그룹 앵커, 앵커의 간격, 연단 거리와 콘크리트 부재 두께의 영향 등을 고려하고 있다.

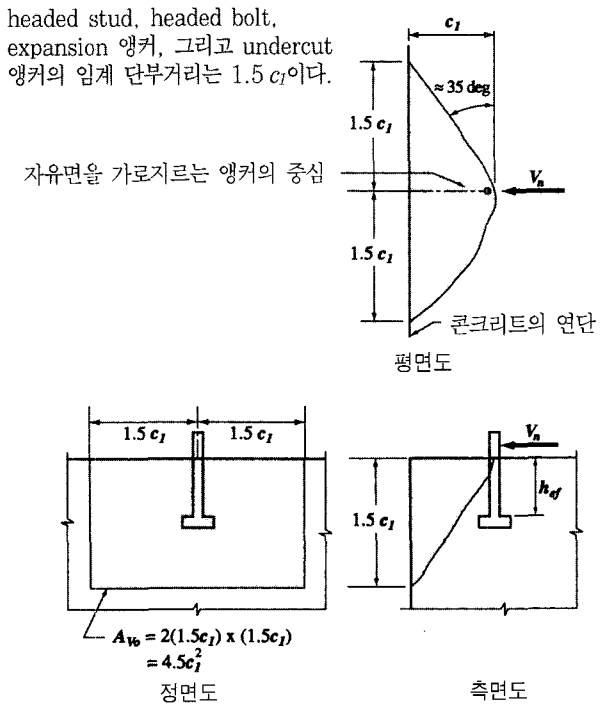


그림 7. A_{Vo}의 계산

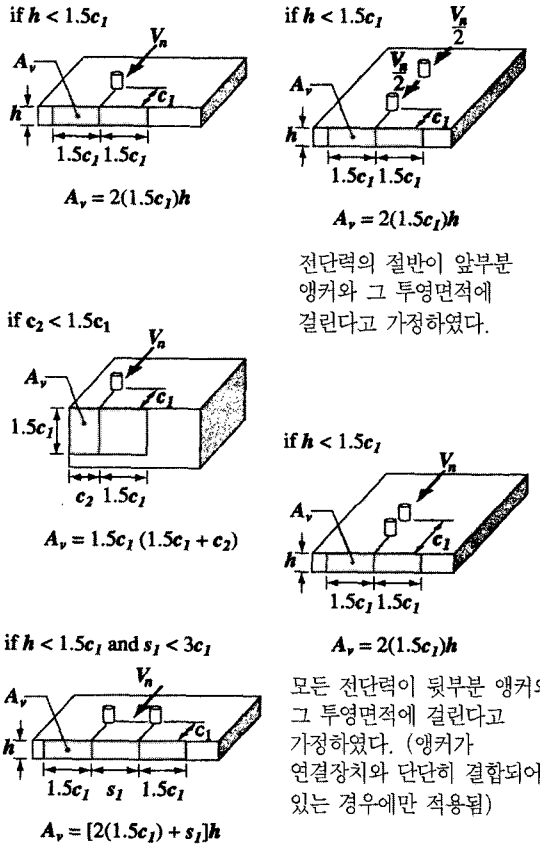
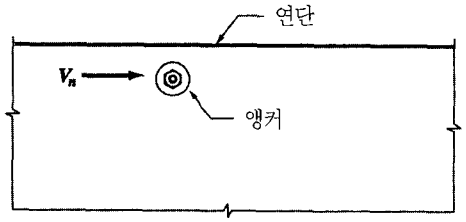
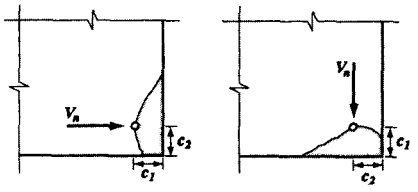


그림 8. 단독 앵커와 그룹 앵커의 투영면적과 AV의 계산



평면도

그림 9. 연단과 평행하게 작용하는 전단력



평면도

그림 10. 모서리 부근에서의 작용하는 전단력

(3) 연단에 평행인 전단력 V_{cb} 나 V_{cbg}는 $\Psi_6 = 1$을 적용하여 식(18)과 식(19)에 의하여 결정된 값의 두 배까지 취할 수 있다〈그림 9〉.

(4) 모서리에 위치한 앵커의 콘크리트 파단에 의한 전단강도는 각 연단에 대하여 계산된 전단강도 중에서 작은 값을 취한다〈그림 10〉.

식(18)과 식(19)에서 V_b는 단독 앵커의 기본전단강도이고 A_v는 콘크리트 부재의 측면으로 파괴면이 투영된 면적이다. 또한 〈그림 8〉에서 나타난 바와 같이 c_1은 앵커에서 연단까지의 거리로서 그룹 앵커에서 A_v는 nA_{v0} 값을 초과할 수 없다.

A_{v0}는 매입깊이가 충분한 단독 앵커에 대한 콘크리트 파단면의 투영면적이다. 〈그림 7〉에 도시한 바와 같이, 이 면적은 연단에서 $3c_1$의 길이와 $1.5c_1$의 깊이로 이루어진 반 피라미드에 대한 투영면의 넓이로서 다음의 식(20)과 같이 계산된다.

$$A_{v0} = 4.5(c_1)^2 \qquad (20)$$

〈그림 8〉의 우측에 나타낸 그룹 앵커와 같이 연단에서부터 떨어진 거리가 각각의 앵커마다 차이가 있는 경우에는 다음의 2가지 방법으로 c_1을 취할 수 있다. 우선 모든 앵커가 서로 용접으로 연결되어 있는 경우에는 〈그림 8〉의 우측하단에 나타낸 바와 같이 연단에서 가장 멀리 떨어져 있는 앵커 열까지의 거리를 c_1으로 취할 수 있다. 이 경우에는 연단에서부터 가장 멀리 떨어져 있는 열의 앵커가 모든 전단력을 전달한다고 가정한다. 한편, 〈그림 8〉의 우측상단에 도시한 경우에는 연단에서부터 최단거리에 위치한 앵커를 기준으로 c_1을 결정하였는데, 이 방법은 탄성 거동을 근거로 하였으며, 안전측의 값을 예측하게 된다. 한편, 〈그림 10〉과 같이 모서리에 위치한 앵커가 전단력을 받는 경우에는 하중 직교방향의 연단 거리 c_2는 하중 방향과 평행한 연단 거리 c_1의 40 % 또는 그 이상에 해당된다.

5.2.2 기본파단강도

(1) 전단을 받는 앵커에 대한 콘크리트의 기본파단강도 V_b는 다음의 식(21)과 같다.

$$V_b = 0.6\left(\frac{l}{d_0}\right)^{0.2}\sqrt{d_0}\,\sqrt{f_c'}\,(c_1)^{1.5} \qquad (21)$$

전단을 받는 앵커에 대한 콘크리트의 파단성능은 인장의 경우와 마찬가지로, 파단면적과 관련 있는 $(c_1)^2$ 에 비례하지 않으며 크기효과에 의하여 $(c_1)^{1.5}$에 비례하는 것으로 제안하고 있다.

(2) 강재 부착물에 최소 두께(10 mm 또는 앵커 직경 1/2)로 그룹 용접된 현장매입 헤디드스터드, 헤디드볼트, 후크볼트 등에 대한 콘크리트의 기본파단강도는 식(22)와 같다.

$$V_b = 0.69\left(\frac{l}{d_0}\right)^{0.2}\sqrt{d_0}\,\sqrt{f_c'}\,(c_1)^{1.5} \qquad (22)$$

식(22)는 아래의 조건을 충족시키는 경우에 적용할 수 있다.

① 파단강도는 콘크리트 연단에서 가장 먼 앵커열의 강도를 기초로 결정된다.
② 앵커의 중심간 간격은 65 mm 이상이다.
③ $c_2 \leq 1.5h_{ef}$인 경우에는 모서리에 보조철근을 배치한다.

(3) 셋 혹은 그 이상의 연단에 의해 영향을 받는 앵커에 대하여는 식(20) ~ (25)에서 사용되는 연단거리 c_1이 $h/1.5$ 이하로 제한된다.

(4) 편심으로 하중이 재하되는 그룹 앵커에 대한 수정계수 Ψ_5는 식(23)과 같다.

$$\Psi_5 = \frac{1}{1+\frac{2e_v'}{3c_1}} \leq 1 \qquad (23)$$

여기서 식(23)은 $e_v' \leq s/2$인 경우에 대하여 유효하다.

(5) 모서리 효과에 대한 수정계수 Ψ_6는 식(24)와 식(25)에 나타낸 바와 같다.

① $c_2 \geq 1.5c_1$ 인 경우

$$\Psi_6 = 1.0 \qquad (24)$$

② $c_2 < 1.5c_1$ 인 경우

$$\Psi_6 = 0.7 + 0.3\frac{c_2}{1.5c_1} \qquad (25)$$

(6) 해석결과에 의하여 사용하중단계에서 균열이 발생하지 않는 콘크리트에 앵커가 위치한 경우에는 $\Psi_7 = 1.4$의 수정증가계수를 적용할 수 있다. 또한 해석결과에 의하여 사용하중 단계에서 균열이 발생한다고 하더라도 다음과 같은 경우에는 수정증가계수 Ψ_7을 적용할 수 있다.

$\Psi_7 = 1.0$: 모서리에 보강철근이 없거나 D13 보다 작은 철근으로 보강된 경우
$\Psi_7 = 1.2$: 앵커와 연단 사이에 D13 또는 그 이상의 철근으로 추가적인 보강이 된 경우
$\Psi_7 = 1.4$: 앵커와 연단 사이에 D13 또는 그 이상의 철근으로 추가적인 보강이 되어 있고, 100 mm 이하의 간격으로 스터럽이 배근되어 있는 경우

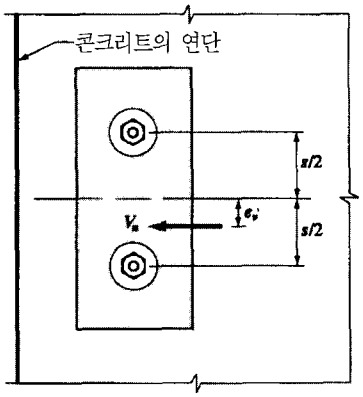


그림 11. e'_V의 정의

5.3 콘크리트 pryout에 의한 전단강도

공칭 pryout강도 V_{cp}는 다음의 식(26)과 같다.

$$V_{cp} = k_{cp}N_{cb} \qquad (26)$$

여기서 $h_{ef} < 65$ mm인 경우에 $k_{cp} = 1.0$이고, $h_{ef} \geq 65$ mm인 경우에 $k_{cp} = 2.0$을 취한다.

6. 인장과 전단의 상호작용

전단력과 축력을 동시에 받는 단독 앵커나 그룹 앵커는 이 절에 따라 설계되어야 한다. 한편, ϕN_n 및 ϕV_n는 3절에 준하여 결정한다.

1) $V_u \leq 0.2\phi V_n$이면, 인강강도가 모두 발현되는 것으로 본다 : $\phi N_n \geq N_u$.
2) $N_u \leq 0.2\phi N_n$이면, 전단강도가 모두 발현되는 것으로 본다 : $\phi V_n \geq V_u$.
3) $V_u > 0.2\phi V_n$ 또는 $N_u > 0.2\phi N_n$이면

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1.2$$

7. 쪼갬파괴를 방지하기 위한 연단거리, 간격, 두께에 대한 요구사항

쪼갬파괴 방지를 위한 추가적인 보강재가 배치되지 않은 경우에는 이 절에서 요구한 최소 간격 및 연단거리, 부재의 최소두께에 대한 규정들을 만족하여야 한다. ACI 355.3에 따라 검증된 경우에는 더 작은 값도 허용된다.

최소 간격, 연단거리와 두께는 앵커의 특성에 따라 많은 영향

을 받는다. 후삽입 앵커를 설치할 때 가해지는 힘과 비틀림은 앵커 주위 콘크리트의 쪼갬파괴를 유발할 수 있으며, 연결장치를 앵커와 결합시킬 때 발생하는 비틀림도 쪼갬파괴를 유발할 수 있다. 이러한 현상은 현장매입 앵커에서도 동일하게 발생한다. 후삽입 앵커의 최소간격, 연단거리, 두께 등은 ACI 355.2에 따라 수행한 시험결과를 근거로 하여 결정하여야 한다. 그러나 설계단계에서는 사용할 앵커의 종류를 모르는 경우가 많으므로 이 절에서는 설계에서 사용할 수 있는 근사값을 제시한다.

(1) 아래의 (4)항에 해당되지 않는 경우의 앵커 중심 간 거리는 비틀림이 가해지지 않는 현장매입 앵커의 경우 $4d_0$(앵커의 외경), 비틀림이 가해지는 현장매입 앵커나 후삽입 앵커의 경우에는 $6d_0$ 이상으로 한다.

(2) 아래의 (4)항에 해당되지 않는 경우, 비틀림이 가해지지 않는 현장매입 헤디드앵커의 최소 연단거리는 보강재의 최소 피복두께 기준에 근거해서 결정하여야 한다. 비틀림이 가해지는 현장매입 헤디드앵커의 연단거리는 $6d_0$ 이상이어야 한다.

(3) 아래의 (4)항에 해당되지 않는 경우, 후삽입 앵커의 최소 연단거리는 보강재의 최소 피복두께 기준이나, ACI 355.2에 따라 수행한 시험결과에 따라 결정하여야 하며, 최대 골재치수의 2배 이상이어야 한다. ACI 355.2에 시험방법이 없는 경우, 최소 연단거리를 다음과 같이 취할 수 있다.

Undercut 앵커 ····· $6d_0$
비틀림력이 제어된 앵커 ····· $8d_0$
변위가 제어된 앵커 ····· $10d_0$

(4) 설치과정에서 쪼갬 힘이 발생하지 않거나, 설치 후에 비틀림을 받지 않는 앵커의 경우, (1)에서 (3)의 규정에 d_0 대신 더 작은 값 d_0'를 적용할 수 있다. 다만 앵커에 작용하는 힘은 직경 d_0'를 가지는 앵커의 강도값으로 제한되어야 한다.

(5) 후삽입 앵커의 h_{ef}는 부재 두께의 2/3이나 부재 두께보다 100 mm 작은 값을 초과할 수 없다.

(6) 설계도면이나 시방서에는 설계에서 가정한 앵커의 최소 연단거리가 상술되어 있어야 한다.

8. 앵커의 설치

앵커는 설계도면이나 시방서에 따라 설치되어야 한다. 앵커의 성능은 적절히 설치되었는지 여부에 따라 결정된다. 앵커의 용량과 변형은 ACI 355.2에 따른 시험을 통해 평가할 수 있으나 이러한 시험은 앵커가 제작자의 설치기준에 따라 적절히 설치되었다는 가정 하에 성립되는 것이다. 특정한 앵커들은 구멍의 직경이나 청결도, 축의 기울기, 설치 비틀림의 크기, 균열폭 그리고 다른 요인들에 민감할 수 있으며 이러한 특성들 중 일부는 ϕ(강도감소계수)에 간접적으로 반영되어 있다. 앵커가 올바르지 못하게 교환되거나 앵커 설치에 대한 기준이 추천된 사항과 다를 경우, ACI 355.2에 따른 시험결과가 크게 다를 수 있으므로 시방서에는 앵커가 제작자의 의도에 따라 적절하게 설치되어야 함을 명시해 두어야 한다.

"콘크리트 구조설계기준(2003)"

◈ 소 개

콘크리트 관련 시방서와 설계기준이 건축과 토목분야가 각각 상이하여 현장의 설계나 시공에 상충과 혼란문제가 초래되어 구조설계기준의 통일안 제정이 요구되어 온 바, 이를 위해 금번 새로이 발간하게 되었다. 이번에 개정한 「콘크리트구조설계기준」은 이러한 관점에서 허용균열폭, 피복두께, 인장철근의 정착길이 등 부족한 일부 내용을 다듬고, 벽체의 부재 적용범위에 대한 구체적인 사항을 추가하여 일선에서 건설기술자들이 유용하게 활용할 수 있도록 하였다.

- 제 목 : 콘크리트 구조설계기준
- 저 자 : 사단법인 한국콘크리트학회
- 출판사 : 기문당
- 출판일 : 2003년 5월
- 페이지 : 299 쪽(판형:B5)
- 정 가 : 15,000원