

무근콘크리트에 매입된 셋트앵커의 전단내력평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Shear Strength of Set Anchors Installed in Plain Concrete

서 성 연¹⁾

양 영 성²⁾

김 규 석³⁾

Seo, Seong Yeon Yang, Young Sung Kim, Kyu Suk

요약 : 익스팬션 앵커인 셋트앵커를 대상으로 실험을 통하여 전단내력에 대해서 고찰하였다. 실험은 연단거리와 앵커간격을 변수로 하여 진행하였으며 전단하중을 받는 앵커의 파괴모드는 연단거리와 앵커의 강성 및 직경에 영향을 받는 것으로 나타났다. 앵커와 모재인 콘크리트의 파괴모드는 앵커의 설계식에 중요한 요소이며, 본 실험에서는 앵커의 전단파괴와 콘크리트 단부파괴가 나타났다. 앵커의 전단강도는 ACI 318-02 설계기준과 EOTA 기준을 비교·검토하여 평가하였으며, 콘크리트 단부파괴강도는 CCD 방법과 기존의 ACI349-90 설계기준을 비교·검토하여 평가하였다. 셋트앵커의 실험결과, (1) 셋트앵커의 전단강도에서 앵커의 계수는 5% 파괴확률을 적용하여 0.684로 평가되었다. 그러므로 ACI318-02와 EOTA의 앵커의 전단강도에 대한 각각의 계수 0.6과 0.5는 안전 측으로 판단된다. 따라서 셋트앵커의 전단강도를 다음과 같이 제시한다. $V_s = 0.684 A_{se} f_{ut}$ (N). (2) 콘크리트 단부파괴강도 예측값은 CCD방법을 적용한 예측값이 비교적 실험값에 근접했다. 그러므로 CCD방법에 근거하여 5% 파괴확률을 적용한 셋트앵커의 콘크리트 단부파괴강도를 다음과 같이 제시한다.

$$V_b = 0.609 \left(\frac{\iota}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_c} (c_1)^{1.5} \text{ (N).}$$

설계방법으로 사료된다.

ABSTRACT : This paper concerns the prediction of shear capacity, as governed by steel failure and concrete breakout failure, of set anchors installed in plain concrete. For this purpose, the methods to evaluate the shear capacity of the set anchors in concrete are summarized and the experimental data are compared with capacities by the two present methods : the method of ACI349-90 and the Concrete Capacity Design (CCD) method. (1) The constant-0.684 in the steel strength equation of set anchor was determined from shear test data at the 5 percent fractile probability. Consequently, it was concluded that the constant-0.6 and 0.5 in the steel strength equation for steel failure of ACI318-02 and EOTA were safe. The nominal shear strength of set anchor was proposed as following. $V_s = 0.684 A_{se} f_{ut}$ (N). (2) The CCD method was considered reasonable in estimating the concrete breakout strength of set anchors. In terms of the CCD method, the nominal concrete breakout strength of set anchor in shear was provided as follows: $V_b = 0.609 \left(\frac{\iota}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_c} (c_1)^{1.5} \text{ (N).}$ (3) The CCD method was considered reasonable in estimating the concrete breakout strength for spacing of set anchors. The proposed equation was considered safe in estimating the concrete breakout strength for spacing of set anchors.

핵심용어 : 셋트앵커, 전단내력, 연단거리, 삽입깊이, 앵커군

KEYWORDS : Set Anchor, Shear Strength, Edge Distance, Embedment Depth, Group Anchor

1) 정회원, 한라대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

(Tel. 033-760-1275, Fax. 033-760-1261, E-mail: syseo@hit.halla.ac.kr)

2) 정회원, 조선대학교 건축공학과 교수, 공학박사(yyang@chosun.ac.kr)

3) 정회원, 동국대학교 건축공학과 명예교수, 공학박사(kimks@dongguk.edu)

본 논문에 대한 토의를 2005년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

셋트앵커(set anchor)는 건설공사, 전기공사, 기계설치공사 등 다양한 공사에서 비교적 가벼운 구조물을 부착하거나 설치하는 경우에 많이 사용된다. 익스팬션앵커(expansion anchor)에 해당하는 중량물앵커(heavy duty anchor)나 웨지앵커(wedge anchor)는 이미 국외에서 많은 실험과 연구를 통해 그 설계기준이 제시되어 있다. 국내에서도 최근 리모델링 건설의 활성화와 국내산 앵커사용으로 인한 비용절감의 효과 등으로 국내산 앵커의 사용이 많아졌으며, 그에 따라 국내산 중량물앵커 및 웨지앵커에 대한 실험과 연구가 김규석등 (2003)에 의하여 진행되었다. 일반적으로 콘크리트에 설치된 앵커에 전단하중이 작용하면 앵커의 전단파괴(steel failure), 콘크리트 단부파괴(concrete breakout failure), 콘크리트 부서짐파괴(concrete pryout failure)의 파괴모드가 나타난다. 연단거리가 충분히 확보되어 연단거리에 영향을 받지 않고 앵커의 직경과 강성이 큰 경우는 콘크리트 부서짐 파괴가 나타나며 앵커의 직경과 강성이 작은 경우는 앵커의 전단파괴가 나타난다. 콘크리트 단부파괴는 연단거리가 짧아질수록 지배적으로 나타난다. 앵커의 전단강도 설계식은 ACI318-02 및 EOTA(European Organization for Technical Approval)에서 앵커의 인장강도에 유효단면적을 곱하는 형태로 제시하고 있다. 그리고 콘크리트 단부파괴강도 설계식은 촌 각도를 일정하게 가정하고 앵커의 내력을 산정하는 이론인 ACI349-90(45-degree method)과 CCD(Concrete Capacity Design)방법이 널리 사용되고 있다. 그러나 익스팬션앵커인 셋트앵커에 대한 실험적 자료는 많이 부족하여 국내에서는 아직 설계기준도 제시되어있지 않다. 따라서 본 연구에서는 셋트앵커의 전단실험을 통하여 국외 앵커시스템 설계기준인 ACI-318-02, ACI-349-90, EOTA 그리고 CCD method의 셋트앵커에 대한 적용가능성을 판단하려고 한다. 또한 각각의 국외 설계기준에 의한 예측값을 실험값과 비교·검토하여 셋트앵커의 전단강도와 콘크리트 단부파괴강도를 평가함으로써 셋트앵커의 전단내력을 평가하고자 한다.

2. 국외의 설계이론 및 기준

2.1 앵커의 전단강도

□ ACI 318-02 Appendix D

ACI318-02 기준에서 후시공 앵커(post-installed anchors)에 대한 앵커의 전단강도는 식 (1)과 같다.

$$V_s = n (0.6 A_{se} f_{ut} + 0.4 A_{st} f_{uts}) \quad (\text{lb}) \quad (1)$$

여기서, A_{se} : 앵커의 유효단면적

f_{ut} : 앵커의 인장강도.

A_{st} : 슬리브의 유효단면적

f_{uts} : 슬리브의 인장강도

n : 앵커수

□ EOTA Annex C

EOTA에서는 전단하중을 받는 앵커의 전단강도를 식 (2)와 같이 제시하고 있다.

$$V_s = 0.5 A_{se} f_{ut} \quad (\text{N}) \quad (2)$$

여기서, A_{se} : 앵커의 유효단면적.

f_{ut} : 앵커의 인장강도.

2.2 콘크리트 단부파괴강도

□ ACI 349-90 Appendix B

ACI 349-90(45°-Cone Method)에서 콘크리트 단부파괴강도(concrete breakout strength)는 45° half-cone에 $4\sqrt{f_c'}$ 의 인장응력이 작용한다고 가정하여 식 (3)과 같이 제시하고 있다.

$$V_{no} = 0.48 \sqrt{f_c'} c_1^2 \quad (\text{N}) \quad (3)$$

여기서, f_c' : 콘크리트의 압축강도.

c_1 : 하중방향에 대한 연단거리.

□ Concrete Capacity Design method

CCD method에서는 콘크리트 단부파괴의 공칭전단강도를 식 (4)와 같이 제시하였다. 또한 단부파괴면을 이상화한 피라미드 모델로 제시하였으며 그 치수는 깊이를 연단거리(c_1)의 1.5배, 너비를 연단거리의 3배로 제시하였다.

$$V_{no} = \left(\frac{l}{d_o}\right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_c'} (c_1)^{1.5} \quad (\text{N}) \quad (4)$$

여기서, l : 앵커의 하중 지압길이

d_o : 앵커의 외경

□ ACI 318-02 Appendix D

균열콘크리트에 대한 단일앵커의 콘크리트 단부파괴강도는 CCD 방법을 기초로 5% 과괴화률을 적용하여 식 (5)와 같이 제시하고 있다.

$$V_b = 7 \left(\frac{t}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_{cc}' + c_1}^{1.5} \quad (Ib) \quad (5)$$

비균열 콘크리트에 위치한 단일 앵커의 콘크리트 콘 파괴강도는 식 (5)에 계수 Ψ_7 을 곱하여 산정한다. 계수 Ψ_7 은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} \Psi_7 &= 1.4 \text{ (post-installed anchors)} \\ \Psi_7 &= 1.25 \text{ (cast-in place anchors)} \end{aligned} \quad (6)$$

□ EOTA Annex C

균열콘크리트에 대한 단일앵커의 콘크리트 단부파괴강도는 식 (7)과 같다. 또한 비균열 콘크리트에 위치한 앵커의 콘크리트 콘 파괴강도는 계수 Ψ_7 을 이용하여 ACI 318-02 와 동일하게 산정한다.

$$V_b = 0.45 \left(\frac{t}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_{cc}' + c_1}^{1.5} \quad (\text{N}) \quad (7)$$

여기서, f_{cc}' : 입방체형 공시체의 콘크리트 압축강도, N/mm².

2.3 앵커간격에 따른 콘크리트 단부파괴강도

□ ACI 349-90 Appendix B

콘크리트 부재의 두께(h)가 연단거리(c_1)보다 작거나 앵커간격(s_1)이 $2c_1$ 보다 작다면, 콘크리트 단부파괴강도를 식 (8)과 같이 제안하였다.

$$V_n = \frac{A_r}{A_{ro}} V_{no} \quad (8)$$

$$\text{여기서, } A_r = \left(\pi - \frac{\pi/2\theta}{180} + \sin \theta \right) c_1^2$$

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{s_1}{2c_1} \right)$$

$$A_{ro} = \frac{\pi}{2} c_1^2$$

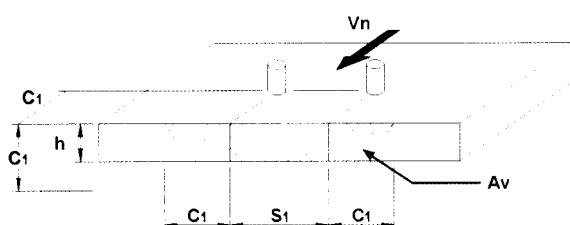


그림 1. 45°cone Method 전단투영면적

□ ACI 318-02 Appendix D, EOTA Annex C

부재의 두께($h < 1.5 c_1$)와 앵커간격($s_1 < 3 c_1$)을 고려한 콘크리트 단부파괴강도를 식(9)와 같이 제안하였다.

$$V_n = \frac{A_r}{A_{ro}} V_{no} \quad (9)$$

$$\text{여기서, } A_{ro} = 4.5 c_1^2$$

$$A_r = [2 + 1.5 c_1] + s_1] h$$

□ 앵커의 공칭강도

ACI 355에서는 후 시공 앵커에 의하여 콘크리트 파괴나 슬립파괴가 일어난 실험값의 평균파괴강도와 변동계수를 이용하여 앵커의 공칭강도($F_{5\%}$)의 계산 방법을 식 (10)과 같이 정규분포곡선의 특성을 이용하여 제시하고 있다.

$$F_{5\%} = F_m (1 - K\nu) \quad (\text{N}) \quad (10)$$

여기서, $F_{5\%}$ = characteristic capacity

F_m = 평균 파괴강도(mean failure capacity)

K = 정규분포 상에서 90%의 신뢰한계를 가지며

여분은 5%가 넘지 않는 편측허용한계

(one-sided tolerance limits)에 관한 계수

ν = 변동계수(coefficient of variation)

3. 셋트앵커의 전단실험

3.1 실험계획

본 연구에서는 연단거리와 앵커간격에 대한 전단내력의 관계를 규명하기 위하여 표 1, 2와 같이 실험체를 계획하였다. 셋트앵커에 대하여 중요한 변수인 연단거리와 앵커간격별로 실험체를 분류하였다. 연단거리에 영향을 받지 않는, 즉 연단거리를 충분히 확보해준 실험체를 기본형이라 명명했으며 실험체명에서 AC1으로 표시하였다. 그리고 연단거리의 변화에 따라 AC2, AC3, AC4 등으로 표시하였다.

기본형 실험체의 경우 실험수를 각각의 앵커에 따라 5개로 하였고, 삽입깊이와 연단거리별로 각각의 앵커에 대해 실험수를 3개로 하였으며, 앵커간격(2군)에 대한 실험수는 2개로 하였다.

연단거리는 앵커의 기본형 실험체에 따라서 계획되었다. 미국의 ACI 349-90 설계기준에서는 앵커가 최대내력을 발휘하기 위하여 요구되는 연단거리를 $1h_{ef}$ 로 가정하고 있으며, 독

일 등 유럽에서 제시하고 있는 CCD 설계방법에서는 $1.5h_{ef}$ 로 가정하고 있다. 앵커가 최대내력을 발휘하기 위하여 요구되는 앵커간격은 ACI 349-90 설계기준에서는 $2h_{ef}$ 이며, CCD 설계방법에서는 $3h_{ef}$ 로 가정하고 있다. 연단거리와 전 단내력의 관계를 규명하기 위해 셋트앵커를 대상으로 각 직경별로 연단거리(c_1)를 유효삽입깊이(h_{ef})의 0.5~2.5배까지 변화시켰다. 또한 연단거리에 대한 영향을 배제하고 셋트앵커의 전단내력을 평가하기 위해서 연단거리를 유효삽입깊이의 3.5배 이상 확보하도록 계획하였다. 앵커간격(2군)에 대한 평균앵커강도와 앵커군과 유사한 기하학적 조건을 가진 단일앵커강도를 비교하면, 앵커군의 평균앵커강도는 앵커간격이 감소함에 따라 앵커의 상호작용으로 인하여 강도저감 현상이 발생한다.

따라서 콘크리트 단부파괴 시에 앵커간격에 따른 전단내력을 규명하기 위하여 앵커 간격을 삽입깊이의 1.0배에서 3.5배 까지 변화시켰다. 또한 콘크리트 단부파괴를 유도하기 위하여 연단거리는 앵커의 직경별로 3/8in., M10, M12, M16에 대해서 각각 50mm, 65mm, 75mm, 100mm로 실험체를 계획하였다. 본 실험에서는 위와 같은 ACI 349-90 설계기준과 CCD 설계방법이 가정하고 있는 연단거리, 앵커간격을 만족하도록 실험체 계획을 수립하였다. 실험체 명명법은 상단의 표기와 같다.

표 1. 연단거리에 따른 실험체 일람표

실험체명	실험수 (개)	설계기준강도 (MPa)	연단거리 (mm)	삽입깊이 (mm)
S3/8-AC1	5	21	200	50
S3/8-AC2	3	21	40	50
S3/8-AC3	3	21	65	50
S3/8-AC4	4	21	85	50
S10-AC1	5	21	200	50
S10-AC2	3	21	40	50
S10-AC3	3	21	65	50
S10-AC4	3	21	85	50
S12-AC1	5	21	200	70
S12-AC2	3	21	55	70
S12-AC3	3	21	75	70
S12-AC4	5	21	105	70
S16-AC1	5	21	200	80
S16-AC2	3	21	70	80
S16-AC3	3	21	100	80
S16-AC4	3	21	130	80

표 2. 앵커간격에 따른 실험체 일람표

실험체명	실험수 (개)	설계기준강도 (MPa)	연단거리 (mm)	앵커군간격 (mm)	삽입깊이 (mm)
S3/8-AC2S1	2	21	40	60	50
S3/8-AC2S2	2	21	40	80	50
S3/8-AC2S3	2	21	50	100	50
S3/8-AC2S4	2	21	50	120	50
S3/8-AC2S5	2	21	50	160	50
S10-AC2S1	2	21	65	60	50
S10-AC2S2	2	21	65	80	50
S10-AC2S3	2	21	65	100	50
S10-AC2S4	2	21	65	120	50
S10-AC2S5	2	21	65	160	50
S12-AC2S1	2	21	75	60	70
S12-AC2S2	2	21	75	80	70
S12-AC2S3	2	21	75	100	70
S12-AC2S4	2	21	75	120	70
S12-AC2S5	2	21	75	160	70
S16-AC2S1	3	21	65	100	80
S16-AC2S2	2	21	65	120	80
S16-AC2S3	2	21	65	160	80
S16-AC2S4	2	21	65	210	80
S16-AC3S1	2	21	100	100	80
S16-AC3S2	2	21	100	160	80
S16-AC3S3	2	21	100	210	80
S16-AC3S4	2	21	100	260	80
S16-AC3S5	3	21	100	320	80

S 16 – A C1 S1

S1: 앵커간격(60, 80, 100, 120, 160mm)

C1: 연단거리(40, 65, 85, 200mm)

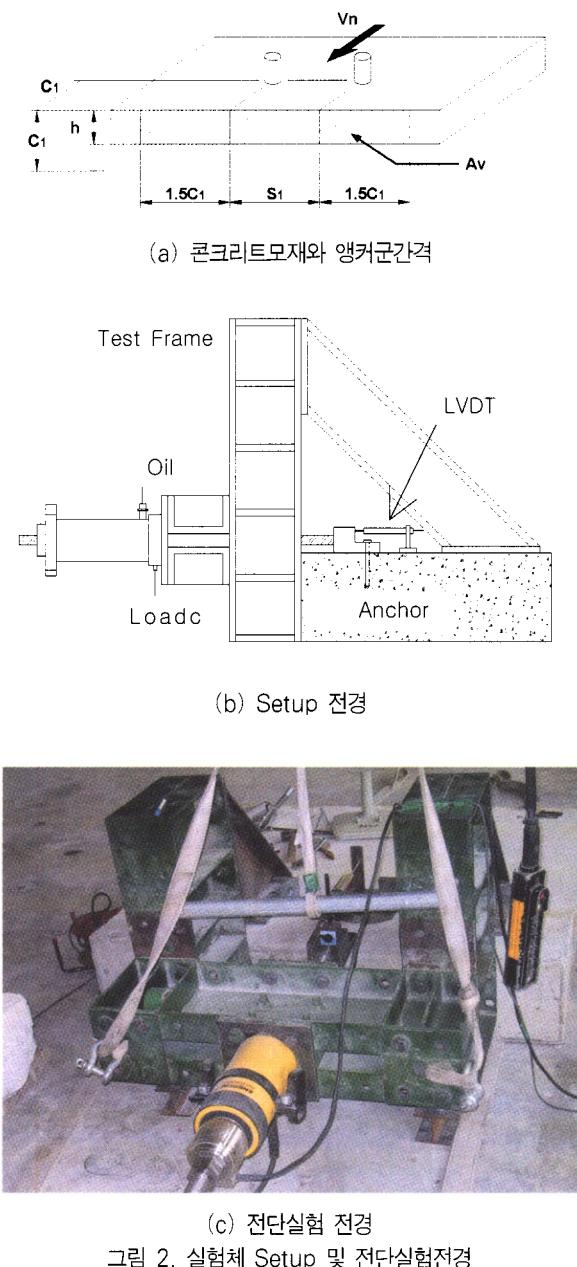
A : 콘크리트 강도 21MPa

S : 전단실험

3.2 가력 및 측정방법

본 연구에서는 ASTM E488-96에서 제시하는 최소 클리어런스(clearance) 및 실험체의 두께($1.5h_{ef}$)를 확보하기 위해 앵커의 삽입깊이와 연단거리, 앵커군 간격에 대한 변수를 계산 하여 비균열 · 무근콘크리트의 단면을 $1.6 \times 1.6 \times 0.3\text{m}$ 인 직육면체의 거푸집을 제작, 레미콘을 사용하여 콘크리트를 타설 하였다. 앵커는 적절한 직경의 비트로 구멍을 뚫은 후 구멍 내의 먼지나 불순물을 제거한 뒤 타격하여 삽입하였다. 실험은 ASTM E 488-96에 의하여 수행하였다. 예상된 극한하중의 $\pm 1\%$ 이내의 정밀성을 가진 실험장비로 하중을 측정하였다. 하중과 변위 측정 장치는 연속적인 하중 대 변위곡선을 산출

하기 위하여 적어도 1초당 한번씩 데이터를 측정할 수 있도록 하였다. 실험장비와 데이터로거를 사용하여 최소 120 데이터를 각각의 실험에 대해서 기록하였다. 앵커의 기력방법은 로드셀(load cell, 사용범위 500.15kN(51tonf))을 설치 후 하중은 유압장비(hydraulic actuator, 사용범위 588.41kN(60tonf))를 이용하여 하중제어방법으로 증가시키며 주기적으로 재하 하도록 계획하였다. 앵커 변위발생을 평가하기 위하여 200mm LVDT를 설치하였으며 데이터로거를 이용하여 하중 및 변위량을 초당 한번씩 측정하였다. 실험장비는 다양한 구성 요소의 항복에 대해서 충분한 내력을 갖게 제작하였으며 앵커와 수직이 되는 축과 평행하게 전단하중을 작용시켰다. 셋트앵커의 전단내력측정을 위한 실험시스템은 그림 2와 같다.



4. 실험결과 및 분석

앵커는 국내 W사에서 생산되는 셋트앵커를 사용하였으며 인장강도는 406MPa이다.

표 3. 콘크리트의 배합 및 강도

설계 강도 (MPa)	시멘 트량 (kg/ m ³)	잔골 재량 (kg/ m ³)	굵은 골재 (kg/ m ³)	단위 수량 (kg/ m ³)	물시 멘트 비 (%)	잔골 재율 (%)	평균 압축 강도 (MPa)
21	312	931	954	150	57	48	23

4.1 연단거리에 따른 전단내력

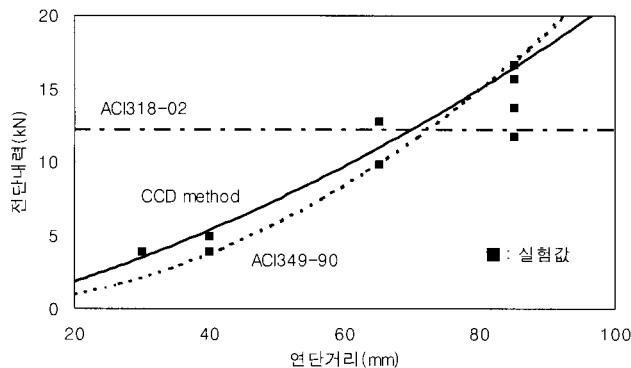
콘크리트 단부파괴강도 설계식에서 연단거리에 대한 타당성을 검토하기 위해서 실험값을 연단거리에 따른 ACI 349-90 설계기준과 CCD방법에 의한 각각의 예측값과 비교·검토하였다. 다음의 표 4는 연단거리에 따른 셋트앵커의 전단실험결과이다. 본 실험에서 앵커파괴가 발생한 기본형 실험체의 실험값과 콘크리트 단부파괴가 발생한 36개 실험체의 실험값이 연단거리별로 나열되어 있다. 연단거리에 따른 전단내력은 콘크리트 단부파괴가 발생한 실험체에서 비교·검토하였다. ACI 349-90 설계기준과 CCD 설계방법을 적용한 예측값의 계산은 각각 식(3) 및 식(4)로 하였다. 그림 3은 연단거리에 따른 셋트앵커의 전단내력을 ACI 349-90 설계기준에 의한 예측값과 CCD 방법에 의한 예측값으로 비교한 것이다. 실선은 CCD방법에 의한 예측값을 연단거리에 따라 나타낸 것이고 점선은 ACI349-90 설계기준에 의한 예측값을 연단거리에 따라 나타낸 것이다. 일점쇄선은 ACI318-02에서 제시하고 있는 앵커의 전단강도를 나타낸다. 그림 3에서 ACI 349-90 설계기준식에 의한 예측값은 연단거리가 짧은 경우에는 실험값에 비해 낮게 분포되어 과소평가되다가 연단거리가 증가할수록 점차 과대평가하는 경향을 나타냈다. CCD 방법에 의한 예측값은 실험값과 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

4.2 셋트앵커의 전단강도

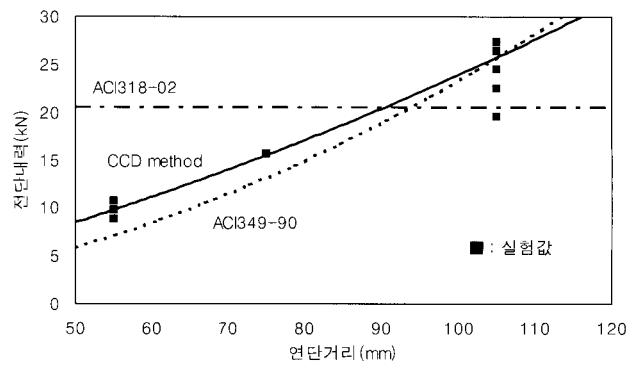
앵커의 전단파괴(steel failure in shear)는 일반적으로 앵커의 인장강도가 작고 연단거리가 비교적 큰 경우에 발생한다. 연단거리를 충분히 고려한 기본형의 경우 본 실험에 사용된 모든 셋트앵커는 앵커의 전단파괴로 나타났다. ACI 318-02 설계기준과 EOTA 설계기준을 실험값과 비교·검토하였다. 표 3은 앵커의 전단파괴가 발생한 20개 실험체의 실험값이다.

표 4. 연단거리에 따른 셋트앵커의 전단실험결과

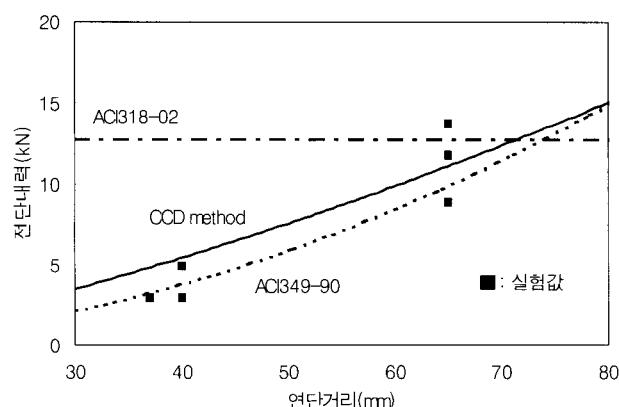
실험체명	연단거리 (mm)	삼입깊이 (mm)	ACI349-90(kN)	CCD(kN)	실험값(kN)	파괴모드	실험값과 예측값의 비교	
			(2)	(3)	(1)		(1)/(2)	(1)/(3)
S3/8-AC1	200	51	-	12.26 ¹⁾	17.65	SS	-	1.44
	200	48	-	12.26 ¹⁾	15.69	SS	-	1.28
	200	42	-	12.26 ¹⁾	15.69	SS	-	1.28
	200	50	-	12.26 ¹⁾	17.65	SS	-	1.44
	200	51	-	12.26 ¹⁾	20.59	SS	-	1.68
S3/8-AC2	30	52	2.10	3.46	3.92	CB	1.87	1.13
	40	53	3.73	5.34	4.90	CB	1.32	0.92
	40	53	3.73	5.34	3.92	CB	1.05	0.73



(a) S3/8-AC 셋트앵커



(c) S12-AC 셋트앵커



(b) S10-AC 셋트앵커

표 5는 앵커의 전단파괴가 발생한 실험체의 결과값을 ACI 214R-02에 따라 각각 실험값/(ACI 318-02 예측값), 실험값/(EOTA 예측값)으로 무차원화여 나타낸 것이다. 설계기준에 따른 실험값의 무차원 평균은 1.482 ~ 1.778로 예측값을 약 50% 이상 초과하고 있으며 변동 계수는 0.105로 편차가 비교적 적게 나타났다. 앵커의 전 단강도는 계수에 앵커의 인장강도와 유효단면적의 곱으로 제안하고 있다. 셋트앵커의 계수를 평가하기 위하여 그림 4 와 같이 실험값($V_{u(test)}$)을 앵커의 인장강도와 유효단면적의 곱으로 이루어진 값($A_{se}f_{ut}$)의 비로 나타내었다. 그림 5 는 그림 4의 $V_{u(test)}/A_{se}f_{ut}$ 비를 이용하여 히스토그램 및 확률밀도곡선으로 셋트앵커의 전단강도분포를 나타낸 것이다. 그림 5에 의하여 5% 파괴확률을 적용한 셋트앵커의 계수는 0.684로 평가되었다.

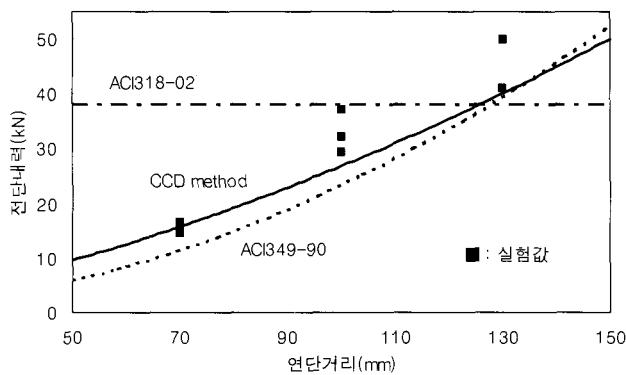
(표 4. 계속)

실험체명	연단거리 (mm)	삽입깊이 (mm)	ACI349-90(kN)	CCD(kN)	실험값(kN)	파괴모드	실험값과 예측값의 비교	
			(2)	(3)	(1)		(1)/(2)	(1)/(3)
S3/8-AC3	65	48	9.84	10.84	9.81	CB	1.00	0.90
	65	53	9.84	11.05	12.75	CB	1.30	1.15
	65	50	9.84	10.93	12.75	CB	1.30	1.17
S3/8-AC4	85	52	16.82	16.45	13.73	CB	0.82	0.83
	85	52	16.82	16.48	16.67	CB	0.99	1.01
	85	52	16.82	16.45	11.77	CB	0.70	0.72
	85	54	16.82	16.58	15.69	CB	0.93	0.95
S10-AC1	200	49	-	12.72 ¹⁾	19.61	SS	-	1.54
	200	50	-	12.72 ¹⁾	19.61	SS	-	1.54
	200	50	-	12.72 ¹⁾	19.61	SS	-	1.54
	200	52	-	12.72 ¹⁾	17.65	SS	-	1.39
	200	51	-	12.72 ¹⁾	16.67	SS	-	1.31
S10-AC2	40	51	3.73	5.37	2.94	CB	0.79	0.55
	40	52	3.73	5.40	2.94	CB	0.79	0.55
	40	52	3.73	5.39	4.90	CB	1.32	0.91
S10-AC3	65	50	9.84	11.10	8.83	CB	0.90	0.80
	65	51	9.84	11.14	11.77	CB	1.20	1.06
	65	48	9.84	11.00	13.73	CB	1.40	1.25
S12-AC1	200	70	-	20.54 ¹⁾	35.30	SS	-	1.72
	200	71	-	20.54 ¹⁾	35.30	SS	-	1.72
	200	71	-	20.54 ¹⁾	31.38	SS	-	1.53
	200	70	-	20.54 ¹⁾	32.36	SS	-	1.58
	200	72	-	20.54 ¹⁾	36.29	SS	-	1.77
S12-AC2	55	71	7.04	9.79	10.79	CB	1.53	1.10
	55	69	7.04	9.72	8.83	CB	1.25	0.91
	55	67	7.04	9.67	9.81	CB	1.39	1.01
S12-AC3	75	70	13.10	15.53	15.69	CB	1.20	1.01
	75	73	13.10	15.66	15.69	CB	1.20	1.00
	75	70	13.10	15.52	15.69	CB	1.20	1.01
S12-AC4	105	69	25.67	25.67	27.46	CB	1.07	1.07
	105	69	25.67	25.66	22.56	CB	0.88	0.88
	105	68	25.67	25.56	26.48	CB	1.03	1.04
	105	71	25.67	25.82	24.52	CB	0.96	0.95
	105	73	25.67	25.91	19.61	CB	0.76	0.76
S16-AC1	200	84	-	38.17 ¹⁾	50.01	SS	-	1.31
	200	82	-	38.17 ¹⁾	50.01	SS	-	1.31
	200	79	-	38.17 ¹⁾	56.88	SS	-	1.49
	200	76	-	38.17 ¹⁾	53.94	SS	-	1.41
	200	81	-	38.17 ¹⁾	51.98	SS	-	1.36
S16-AC2	70	85	11.41	15.85	14.71	CB	1.29	0.93
	70	83	11.41	15.81	15.69	CB	1.38	0.99
	70	82	11.41	15.74	16.67	CB	1.46	1.06
S16-AC3	100	81	23.29	26.83	32.36	CB	1.39	1.21
	100	80	23.29	26.80	37.27	CB	1.60	1.39
	100	82	23.29	26.90	29.42	CB	1.24	1.09
S16-AC4	130	80	39.35	39.72	50.01	CB	1.27	1.26
	130	84	39.35	40.09	41.19	CB	1.05	1.03
	130	87	39.35	40.35	41.19	CB	1.05	1.02

주) SS : 앵커의 전단파괴(steel failure),

1) : 식 (1)에 의해서 구한 ACI318-02 앵커파괴강도를 의미한다.

CB : 콘크리트 단부파괴(concrete breakout failure).



(d) S16-AC 셋트앵커

그림 3. 연단거리에 따른 셋트앵커의 전단내력

따라서 ACI 318-02와 EOTA에서 제시하고 있는 앵커의 전단강도에 대한 각각의 계수 0.6과 0.5는 안전 측으로 판단된다. 따라서 셋트앵커의 전단강도를 다음의 식 (11)과 같이 제시한다.

$$V_s = 0.684 A_{se} f_{ut} \quad (N) \quad (11)$$

표 5. 앵커의 전단강도 비교

구분	무차원평균	표준편차	변동계수
ACI 318-02	1.482	0.155	0.105
EOTA	1.778	0.186	0.105

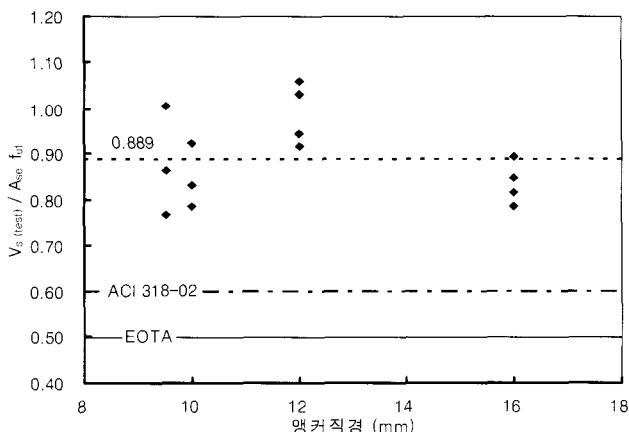


그림 4. 앵커의 전단강도 비교

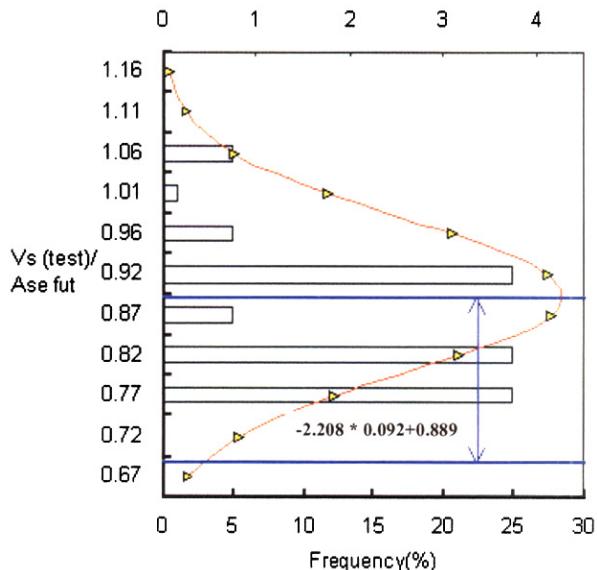


그림 5. 앵커의 전단강도 분포

4.3 셋트앵커의 콘크리트 단부파괴강도

국외의 콘크리트 단부파괴강도 설계식의 타당성을 검토하고 실험결과를 분석하여 셋트앵커의 콘크리트 단부파괴강도 설계식을 제시하고자한다. 콘크리트 단부파괴강도에 영향을 주는 연단거리를 변수로 하여 연단거리에 따른 실험값을 ACI349-90과 CCD방법에 의한 각각의 예측값과 비교·검토하였다. 그림 6(a)는 연단거리에 따른 ACI349-90에 의한 예측값과 실험을 통해 콘크리트 단부파괴가 발생한 실험체의 실험값을 무차원화하여 연단거리에 따라 나타낸 것이다. 그림 6(b)는 동일한 방법으로 CCD방법에 대한 경우를 나타낸 것이다. 표 6은 연단거리에 따른 ACI349-90 설계기준과 CCD방법에 의한 각각의 예측값을 실험값과 비교한 결과이며, 콘크리트 단부파괴가 발생한 36개의 실험체를 가지고 실시하였다.

ACI349-90 설계기준의 경우에는 무차원 평균이 1.163, 표준편차는 0.262, 변동계수는 0.225로 나타났으며 CCD방법의 경우는 무차원평균이 0.982, 표준편차는 0.182, 변동계수는 0.186으로 나타났다. ACI349-90 설계기준은 CCD방법보다 무차원평균, 표준편차, 변동계수가 모두 높게 나타났다. 그림 6(a)에서 연단거리가 증가함에 따른 실험값의 분포형태에는 큰 변화가 없었다.

$V_u(\text{test}) / V_{no}(\text{ACI349-90predicted})$ 의 무차원평균은 1.163으로 실험값이 ACI 349-90 설계기준보다 높은 값에 많이 분포하고 있음을 나타내고 있다. 따라서 ACI 349-90 설계기준에 의한 예측값은 비교적 과소평가하고 있다. 그림 6(b)는

CCD방법에 대한 경우를 나타낸 것이다.

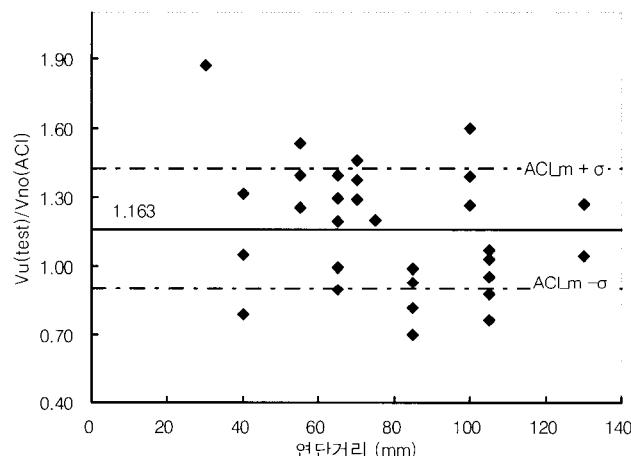
$V_{u(test)}/V_{no(CCDpredicted)}$ 의 무차원평균이 0.982로 다소 과대평가하는 경향이 있지만 실험값과 비교적 일치하고 있다. 표준편차와 변동계수도 각각 0.182, 0.186으로 비교적 편차가 적게 나타났다. 따라서 CCD 방법에서 제시하는 기준식에 의한 예측값과 실험값은 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

그림 7은 셋트앵커의 콘크리트 단부파괴강도의 계수를 구하기 위해 그림 6(b)의 $V_{u(test)}/V_{no(CCDpredicted)}$ 비율을 이용하여 셋트앵커의 콘크리트 단부파괴강도분포를 히스토그램 및 확률밀도곡선으로 나타낸 것이다. 그림 7에 의해 5%파괴확률을 적용한 셋트앵커의 계수는 0.609로 평가되었다. 따라서 CCD 방법에 근거하여 셋트앵커의 콘크리트 단부파괴강도 (V_b)를 식 (12)와 같이 제시한다.

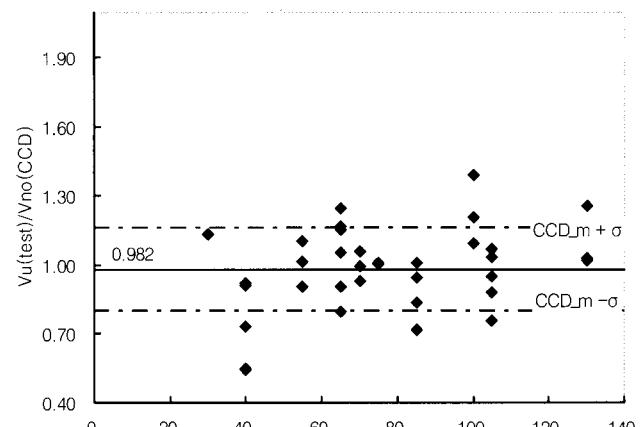
$$V_b = 0.609 \left(\frac{\ell}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_c} (c_1)^{1.5} \text{ (N)} \quad (12)$$

표 6. 연단거리에 따른 콘크리트 단부파괴강도 비교

구분	무차원평균	표준편차	변동계수
CCD method	0.982	0.182	0.186
ACI 349-90	1.163	0.262	0.225



(a) ACI 349-90 설계기준과의 비교



(b) CCD 설계기준과의 비교

그림 6. 연단거리에 따른 콘크리트 단부파괴강도

4.4 앵커간격(2군)에 따른 콘크리트 단부파괴강도

단일앵커가 아닌 2개의 앵커가 설치된 경우 앵커에 대한 콘크리트 단부파괴강도는 앵커간격에 따른 영향을 받게 된다. 앵커간격이 단일앵커와 같이 거동할 수 있도록 크다면 이론상 단일앵커의 콘크리트 단부파괴강도보다 2배 정도 높은 콘크리트 단부파괴강도가 발생될 것이다. 그러나 앵커간격이 작아

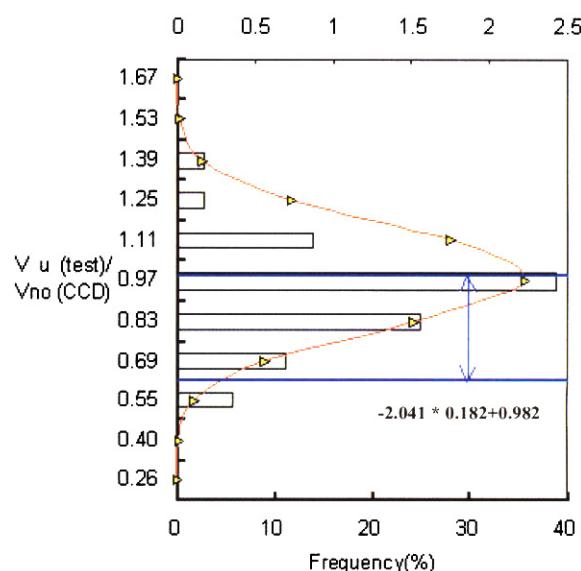


그림 7. 셋트앵커의 5% 파괴확률

서 단일앵커일 때와 같이 앵커가 거동하지 못한다면 앵커 간 상호작용으로 인하여 앵커간격(2군)에 대한 콘크리트 단부파괴강도는 훨씬 적게 발생된다. ACI 349-90 설계기준에서 제시하는 앵커간격(2군)에 따른 콘크리트 단부파괴강도는 앵커

표 7. 앵커간격(2군)에 따른 셋트앵커의 전단실험결과

실험체명	연단거리 (mm)	앵커간격 (mm)	삽입 깊이 (mm)	ACI 감소 계수	CCD 감소 계수	ACI349-90 (kN)	CCD (kN)	실험값 (kN)	실험값과 예측값의 비교	
				(4)	(5)	(2)	(3)	(1)	(1)/(2)*(4)	(1)/(3)*(5)
S3/8-AC2S1	40	60	51	1.86	0.75	3.73	10.61	1.96	0.28	0.25
	40	60	51	1.86	0.75	3.73	10.58	0.98	0.14	0.12
S3/8-AC2S2	40	80	54	2.00	0.83	3.73	10.71	12.75	1.71	1.43
	40	80	52	2.00	0.83	3.73	10.63	0.98	0.13	0.11
S3/8-AC2S3	50	100	53	2.00	0.83	5.82	14.93	18.63	1.60	1.50
	50	100	52	2.00	0.83	5.82	14.88	14.71	1.26	1.19
S3/8-AC2S4	50	120	52	2.00	0.90	5.82	14.88	15.69	1.35	1.17
	50	120	54	2.00	0.90	5.82	14.99	16.67	1.43	1.24
S3/8-AC2S5	50	160	51	2.00	1.00	5.82	14.82	21.57	1.85	1.46
	50	160	51	2.00	1.00	5.82	14.81	21.57	1.85	1.46
S10-AC2S1	65	60	54	1.57	0.65	9.84	22.54	18.63	1.21	1.26
	65	60	50	1.57	0.65	9.84	22.23	18.63	1.21	1.28
S10-AC2S2	65	80	50	1.73	0.71	9.84	22.18	17.65	1.04	1.13
	65	80	53	1.73	0.71	9.84	22.42	17.65	1.04	1.12
S10-AC2S3	65	100	54	1.87	0.76	9.84	22.49	16.67	0.91	0.98
	65	100	51	1.87	0.76	9.84	22.23	14.71	0.80	0.88
S10-AC2S4	65	120	52	1.97	0.81	9.84	22.39	13.73	0.71	0.76
	65	120	51	1.97	0.81	9.84	22.28	21.57	1.11	1.20
S10-AC2S5	65	160	49	2.00	0.91	9.84	22.10	30.40	1.55	1.51
	65	160	52	2.00	0.91	9.84	22.35	26.48	1.35	1.30
S12-AC2S1	75	60	68	1.50	0.63	13.10	30.92	23.54	1.20	1.202
	75	60	67	1.50	0.63	13.10	30.83	21.57	1.10	1.11
S12-AC2S2	75	80	67	1.65	0.68	13.10	30.81	27.46	1.27	1.32
	75	80	69	1.65	0.68	13.10	30.93	25.50	1.18	1.26
S12-AC2S3	75	100	69	1.78	0.72	13.10	30.99	25.50	1.09	1.14
	75	100	69	1.78	0.72	13.10	30.97	21.57	0.93	0.97
S12-AC2S4	75	120	68	1.90	0.77	13.10	30.92	20.59	0.83	0.87
	75	120	69	1.90	0.77	13.10	30.97	30.40	1.22	1.28
S12-AC2S5	75	160	70	2.00	0.86	13.10	31.10	35.30	1.35	1.33
	75	160	70	2.00	0.86	13.10	31.09	28.44	1.09	1.07
S16-AC2S1	65	100	80	1.87	0.76	9.84	28.03	29.42	1.60	1.39
	65	100	80	1.87	0.76	9.84	28.07	19.61	1.07	0.92
S16-AC2S2	65	120	82	1.97	0.81	9.84	28.17	22.56	1.16	0.99
	65	120	81	1.97	0.81	9.84	28.15	21.57	1.11	0.95
S16-AC2S3	65	160	84	2.00	0.91	9.84	28.35	25.50	1.30	0.99
	65	160	83	2.00	0.91	9.84	28.27	31.38	1.60	1.22

간격(s_1)이 $s_1 < 2 c_1$ 이거나 콘크리트 부재의 두께(h)가 $h < c_1$ 일 경우 두 앵커의 이상화된 단부파괴면적의 겹치는 부분을 계산하여 콘크리트 단부파괴강도를 감소시킨다. CCD 방법에서도 앵커간격(2군)에 따른 콘크리트 단부파괴강도는 앵커간격(s_1)과 연단거리(c_1)가 $s_1 < 3 c_1$ 이거나

부재의 두께(h)가 $h < 1.5 c_1$ 인 경우 두 앵커의 이상화된 단부파괴면적의 겹치는 부분을 계산하여 콘크리트 단부파괴강도를 감소시키고 있다. 표 7은 앵커간격에 따른 ACI 349-90 설계기준과 CCD 방법에 의한 각각의 예측값과 본 실험에서 콘크리트 단부파괴가 발생한 49개 실험체의 실험값을 앵커별로 나열한 것이다. ACI 349-90 설계기준과 CCD

(표 7. 계속)

실험체명	연단거리 (mm)	앵커간격 (mm)	삽입 깊이 (mm)	ACI 감소 계수	CCD 감소 계수	ACI349-90 (kN)	CCD (kN)	실험값 (kN)	실험값과 예측값의 비교
				(4)	(5)	(2)	(3)	(1)	(1)/(2)*(4)
S16-AC2S4	65	210	81	2.00	1.00	9.84	28.10	32.36	1.65
	65	210	82	2.00	1.00	9.84	28.18	37.27	1.89
S16-AC3S1	100	100	82	1.61	0.67	23.29	53.82	41.19	1.10
	100	100	82	1.61	0.67	23.29	53.80	38.25	1.02
S16-AC3S2	100	160	78	1.90	0.77	23.29	53.29	45.11	1.02
	100	160	76	1.90	0.77	23.29	53.05	41.19	0.93
S16-AC3S3	100	210	73	2.00	0.85	23.29	52.59	60.80	1.31
	100	210	76	2.00	0.85	23.29	53.04	51.00	1.10
S16-AC3S4	100	260	82	2.00	0.93	23.29	53.78	56.88	1.22
	100	260	82	2.00	0.93	23.29	53.83	51.00	1.10
S16-AC3S5	100	320	84	2.00	1.00	23.29	54.12	62.76	1.35
	100	320	82	2.00	1.00	23.29	53.82	77.47	1.66
	100	320	81	2.00	1.00	23.29	53.71	60.80	1.31

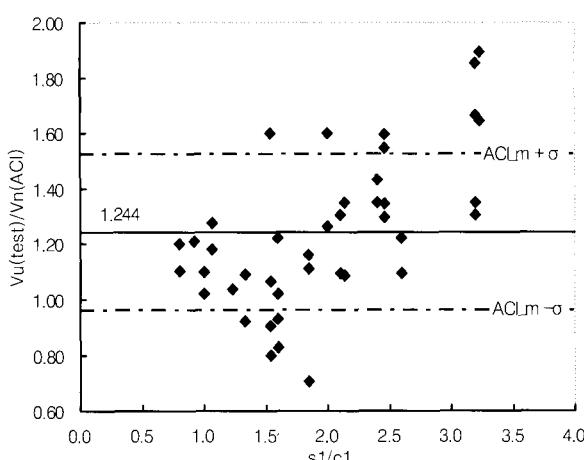
주) 앵커간격에 따른 파괴모드는 모두 콘크리트 단부파괴가 발생함.

방법에 의한 예측값은 ACI 349-90 설계기준은 식 (8), CCD 설계방법은 식 (9)로 계산하였다. 감소계수는 연단거리, 앵커간격 그리고 부재의 두께에 따른 관계를 계산하여 적용하였다. 표 7에서 실험체 S3/8-AC2S1과 S3/8-AC2S2는 실험값이 각 기준에 의한 예측값에 비해 현저하게 낮은 값으로 나타났다. 이는 연단거리가 많이 짧은 경우 앵커의 내력이 발휘되기 전에 콘크리트단부가 쉽게 떨어져 나간 현상으로써 앵커가 충분한 내력을 발휘할 수 있도록 지지해 주는 콘크리트의 강도와 관련이 있다고 판단된다. 본 연구에서는 표 7의 실험체 S3/8-AC2S1과 S3/8-AC2S2의 데이터를 제외하고 실험결과를 분석하였다. 그림 8(a)는 연단거리에 대한 앵커 간격의 비에 따라 감소계수를 적용한 ACI 349-90 설계기준에 의한 예측값과 실험값을 무차원화하여 나타낸 것이다.

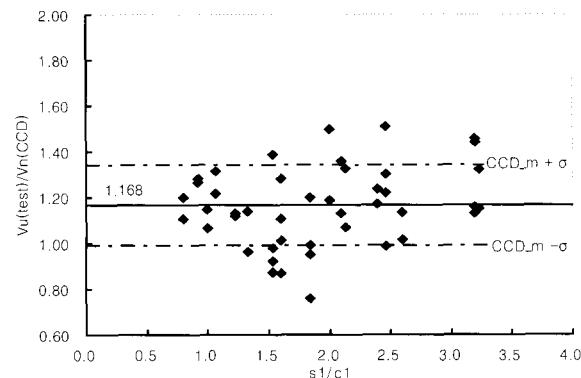
그리고 그림 8(b)는 동일한 방법으로 CCD 방법에 대한 경우를 나타낸 것이다. 표 7은 앵커간격에 대해서 ACI 349-90 설계기준과 CCD 방법에 의한 각각의 예측값과 실험값을 비교한 것이다. 실험체수는 45개이고 ACI 349-90 설계기준의 경우 무차원평균은 1.244, 표준편차 0.279, 변동계수가 0.224이며, CCD방법의 경우는 무차원평균은 1.168, 표준편차 0.176, 변동계수가 0.151이다. ACI 349-90 설계기준은

CCD 설계방법보다 무차원평균, 표준편차, 변동계수, 모두 높게 나타났다. 그림 8(a)를 검토해 본 결과, ACI 349-90의 예측값은 앵커간격이 증가함에 따라 점점 과소평가하는 경향이 있으며 $V_{u(test)}/V_{n(ACI349-90predicted)}$ 의 무차원

평균은 1.244로 ACI 349-90 설계기준보다 높은 값에 실험값이 많이 분포하고 있음을 나타낸다. 따라서 ACI 349-90 설계기준에서 제시하는 기준식은 과소평가 되고 있음을 나타내고 있다. 그림 8(b)의 CCD 방법은 앵커간격이 증가함에 따라 미소하게 실험값이 증가하는 경향은 있으나 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그림 9에서 $V_{u(test)}/V_{n(CCDpredicted)}$ 의 무차원평균이 1.168로 CCD 도 과소 평가하고 있으나 실험값에 비교적 근접하고 있으며 표준편차 0.176, 변동계수 0.151로써 무차원값들이 비교적 무차원평균값에 균일하게 분포하고 있음을 나타냈다. 이로 미루어 보아 앵커간격에 따른 콘크리트 단부파괴강도는 CCD 방법이 실험값과 비교적 잘 일치하는 것으로 판단된다. 그림 9는 4.3항에서 제시하였던 셋트앵커의 콘크리트 단부파괴강도식의 계수 0.609를 적용하여 CCD방법에 근거한 앵커간격에 따른 콘크리트 단부파괴분포를 히스토그램 및 확률밀도곡선으로 나타낸 것이다. 5% 파괴확률을 적용한 결과, $V_{u(test)}/V_{n(CCDpredicted)}$ 비는 1.342로 나타났다. 따라서 앵커간격에 따른 콘크리트 단부파괴강도 추정 시 CCD 설계방법이 안전 측으로 사료된다.



(a) ACI 349-90 설계기준과의 비교



(b) CCD 설계기준과의 비교

그림 8. 앵커간격에 따른 콘크리트 단부파괴강도

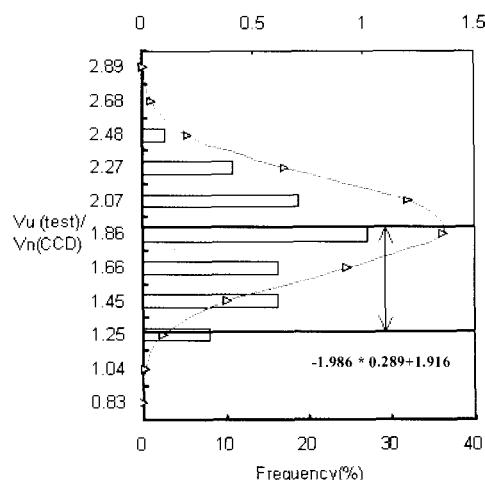


그림 9. CCD설계기준에 대한 실험값비의 확률밀도곡선

표 8. 앵커간격에 따른 콘크리트 단부파괴강도 비교

구분	무차원평균	표준편차	변동계수
ACI 349-90	1.244	0.279	0.224
CCD method	1.168	0.176	0.151

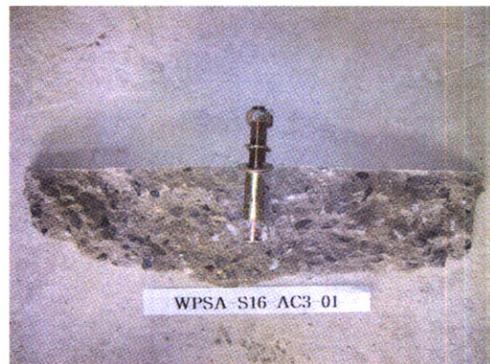


그림 10. 콘크리트 단부파괴형상

5. 결 론

익스팬션 앵커인 셋트앵커를 대상으로 실험을 통하여 전단 내력에 대해서 고찰하였다. 실험은 연단거리와 앵커간격을 변수로 하여 진행하였으며 전단하중을 받는 앵커의 파괴모드는 연단거리와 앵커의 강성 및 직경에 영향을 받는 것으로 나타났다. 앵커와 모재인 콘크리트의 파괴모드는 앵커의 설계식에 중요한 요소이며, 본 실험에서는 앵커의 전단파괴와 콘크리트 단부파괴가 나타났다. 앵커의 전단강도는 ACI 318-02 기준과 EOTA기준을 비교·검토하여 평가하였으며, 콘크리트 단부파괴강도는 CCD 방법과 기존의 ACI349-90 설계기준을 비교·검토하여 평가하였다.

- (1) 셋트앵커의 전단강도에서 앵커의 계수는 5% 파괴확률을 적용하여 0.684로 평가되었다. 따라서 ACI318-02와 EOTA의 앵커의 전단강도에 대한 각각의 계수 0.6과 0.5는 안전 측으로 판단된다. 따라서 셋트앵커의 전단강도를 다음과 같이 제시한다.

$$V_s = 0.684 A_{se} f_{ut} \quad (N)$$

- (2) 콘크리트 단부파괴강도 예측값은 CCD방법을 적용한 예측값이 비교적 실험값에 근접했다. CCD방법에 근거하여 5% 파괴확률을 적용한 셋트앵커의 콘크리트 단부파괴강도를 다음과 같이 제시한다.

$$V_b = 0.609 \left(\frac{t}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_c} (c_1)^{1.5} \quad (N)$$

- (3) 앵커간격에 따른 콘크리트 단부파괴강도 추정시 CCD

설계기준이 ACI318-02 설계기준보다 합리적인 설계 방법으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 김규석(2003) 비균열무근콘크리트 매입된 앵커의 전단내력, 대한건축학회 구조계 논문집, 제19권 제9호, 2003. 9.
- 김규석, 서성연, 김성용 (2003) 비균열 무근콘크리트에 매입된 익스팬션앵커의 인발내력, 대한건축학회 구조계 논문집, 제19권 제11호, 2003년 11월호.
- 김규석, 김성용 (2003) 익스팬션앵커의 콘파괴강도 평가, 한국강구조학회 논문집, 제15권 제6호, 2003년 12월호.
- W. Fuchs, R. Eligehausen, and J. E. Breen Concrete Capacity Design(CCD) Approach for Fastening to Concrete, ACI Structural Journal, vol. 92, 1995.
- ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, 2002.
- EOTA, Annex C Design Methods for Anchorages, 2001.
- ACI Committee 355, Evaluating the Performance of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete(ACI 355.2-00), American Concrete Institute, 2000.
- ACI Committee 214-02, Evaluation of Strength Test Results of Concrete, 2002.
- EOTA Part One Anchors in General, 2001.
- AISC, Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, 2nd Edition, Chicago, Dec. 1999, 327 pp.
- ASTM E488-96, Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements, 1996.
- CEB Task Group VI/5, fastening to Reinforced Concrete and Masonry Structures : Design and Detailing, Volume 1, Euro-International Concrete Committee (CEB), May 1991.
- C. B. Farrow, Tensile Capacity of Anchors with Partial or Overlapping Failure Surface, M.S. Thesis, The University of Texas at Austin, August, 1992.
- G. Rehm, R. Eligehausen, and R. Mallee, Befestigungstechnik, Beitrag zum Betonkalender,

- 1988.
- H. B. Albert, and J. L. Gerald, Engineering Statistics, Prentice Hall, 1972.
- I. Frigui, Tensile Capacity of Single Anchors in Concrete, M.S. Thesis, The University of Texas at Austin, August, 1992.
- J. H. Gross, R. E. Klingner, and H. L. Graves, III, Dynamic Behavior of Single and Double Near-Edge Anchors Loaded in Shear, ACI Structural Journal, vol. 98, 2001.
- J. M. Hallowell, Tensile and Shear Behavior of Anchors in Uncracked and Cracked Concrete under Static and Dynamic Loading, M.S. Thesis, The University of Texas at Austin, August, 1996.
- PCI, PCI design handbook-Precast and Prestressed Concrete, 3rd Edition, Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1985.
- PCI, PCI design handbook-Precast and Prestressed Concrete, 5th Edition, Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1999.
- R. A. Cook, Behavior and Design of Ductile Multiple-Anchor Steel-to-Concrete Connections, Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin, August, 1989.
- R. Eligehausen, and W. Fuchs, Loadbearing Behavior of Anchor Fastenings under Shear, Combined Tension and Shear of Flexural Loading, Betonwerk + Fertigteil-Technik, Berlin, No.2, 1988, pp.44~56.
- R. Eligehausen, W. Fuchs, and B. Mayer, Tragverhalten von Dubelbefestigungen bei Zugbeanspruchung, Betonwerk + Fertigteil-Technik, Berlin, No.1, 1988, pp.29~35.
- R. W. Sutton, and D. Meinhardt, Evaluation of Expansion Anchor Ultimate tensile capacity Prediction Equations, anchors in Concrete : Design and Behavior, SP-130, American Concrete Institute, Detroit, 1991, pp. 19~46.
- TVA Civil Design Standard No. DS-C.1.7.1, General Anchorage to Concrete, Tennessee Valley Authority, Knoxville, TN, 1984.

(접수일자 : 2005. 3. 2 / 심사일 2005. 3. 24 /
심사완료일 2005. 6. 10)