

비균열·무근콘크리트의 단일앵커 전단내력 평가

Shear Strength of Single Anchors in Uncracked and Unreinforced Concrete

김 성 용*
Kim, Sung-Yong

김 규 석**
Kim, Kyu-Suk

Abstract

This study concerns the prediction of shear capacity, as governed by concrete breakout failure, concrete pryout failure and steel failure, of single anchors located close to free edge and located far from a free edge and installed in uncracked, unreinforced concrete. For this purpose, the methods to evaluate the shear capacity of the single anchors in concrete are summarized and the experimental data are compared with capacities by the two present methods: the method of ACI 349-90 and concrete capacity design (CCD) method.

요 지

비균열·무근 콘크리트에 매입된 단일앵커는 연단거리와 콘크리트 강도에 따라 콘크리트 단부파괴, 콘크리트 부서짐파괴, 앵커파괴가 발생한다. 본 연구에서는 연단거리와 콘크리트 강도에 따라 콘크리트 단부파괴, 콘크리트 부서짐파괴, 앵커파괴 발생시 단일앵커의 전단내력평가를 목적으로 한다. 이를 위하여 ACI 318-02와 EOTA 기준의 근거인 CCD (Concrete Capacity Design) 방법과 기존의 앵커 설계기준인 ACI 349-90(45-Degree Cone Method)에 의한 예측값과 실험값을 서로 비교 평가하였다.

Keywords : Heavy-duty Anchor, Wedge Anchor, Shear Strength, Edge Distance, Concrete Strength

* 정회원, 동국대 대학원 건축공학과, 박사과정

** 정회원, 동국대 건축공학과, 교수, 공학박사

E-mail : highbolt@dreamwiz.com 011-9280-7458

•본 논문에 대한 토의를 2003년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 2004년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근에 들어와 유지관리 및 보수·보강의 요구가 높아지고 있다. 이에 따라 기존 구조물에 새로운 구조부재를 접합할 수 있는 정착 시스템과 정착 기구를 필요로 하고 있다. 그러나 국내에서는 이 분야의 명확한 설계규준이나 혹은 정착성능기준이 없는 상태이다. 따라서 국내에서 생산되는 정착기구에 대한 기술 자료의 필요성이 시급한 상태이다. 본 연구에서는 익스팬션 앵커(Expansion anchor)에 해당하는 고하중 앵커(중량물용 앵커, Heavy-duty anchor)와 웨지 앵커(Wedge anchor)를 대상으로 연단거리 및 콘크리트 강도를 변수로 한 전단실험을 통하여 앵커의 거동을 살펴보고, ACI 318-02와 EOTA(European Organization for Technical Approval) 기준의 근거인 CCD (Concrete Capacity Design) 방법과 기존의 앵커 설계기준인 ACI 349-90 (45-Degree Cone Method)에 의한 예측값과 실험값을 서로 비교 평가하여, 콘크리트에 묻히는 앵커시스템의 품질확보를 위해 필요한 기초 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

2. 기존 연구 및 설계기준

2.1 앵커파괴강도(Steel strength of anchor)

1) ACI 318-02 Appendix D⁽¹⁾

후시공(Post-installed anchors) 앵커의 공칭강도는 앵커의 단면적과 인장강도의 함수이며, 식(1)과 같다. Fig. 1은 앵커파괴의 형상이다.

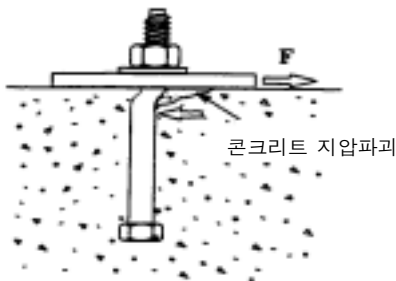


Fig. 1 앵커파괴

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

여기서

A_{se} : 앵커볼트의 유효단면적, in².

f_{ut} : 앵커볼트의 인장강도, psi.

A_{sl} : 슬리브의 유효단면적, in².

f_{ustl} : 슬리브의 인장강도, psi.

n : 앵커의 개수.

2.2 콘크리트 단부파괴강도 (Concrete breakout strength)

1) ACI 349-90 Appendix B⁽²⁾

ACI 349-90에서 콘크리트 단부파괴강도는 Fig. 2와 같이 45° half-cone에 $4\sqrt{f'_c}$ 의 인장응력이 작용한다고 가정하여, 식 (2)와 같이 제시하고 있다.

$$V_{no} = 2\pi\sqrt{f'_c}c_1^2 \quad \text{lb (2)}$$

여기서

f'_c : 콘크리트의 압축강도, psi.

c_1 : 하중방향에 대한 연단거리, in.

2) Concrete Capacity Design(CCD) method⁽³⁾

Fuchs는 headed, adhesive 및 expansion anchor의 실험값을 회귀 분석하여, 공칭전단강도를 (3)식과 같이 제시하고 있다.

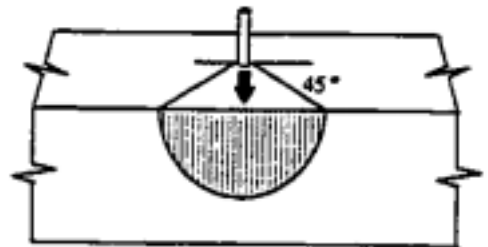


Fig. 2 45°-Cone Method에서 전단하중을 받는 앵커의 이상화한 단부파괴형상

$$V_{no} = 13 \left(\frac{l}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_c'} c_1^{1.5} \quad \text{lb (3)}$$

여기서

l : 앵커의 하중 지압길이, in.

d_o : 앵커의 외경, in.

3) ACI 318-02 Appendix D⁽¹⁾

균열콘크리트에 대한 단일앵커의 콘크리트 단부파괴 강도는 CCD method를 기초로 5% 파괴확률을 적용하여, 식 (4)와 같이 제시하고 있다.

$$V_b = 7 \left(\frac{l}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_c'} (c_1)^{1.5} \quad \text{lb (4)}$$

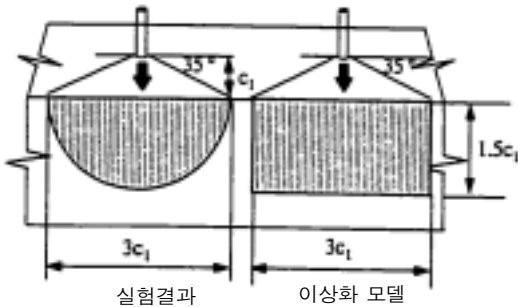


Fig. 3 CCD 방법에서 전단하중을 받는 앵커의 이상화한 단부파괴 형상

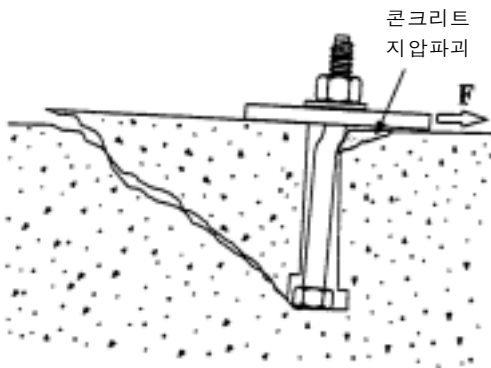


Fig. 4 콘크리트 부서짐파괴

2.3 콘크리트 부서짐강도 (Concrete pryout strength)

1) ACI 318-02 Appendix D⁽¹⁾, EOTA Annex C⁽⁴⁾

콘크리트 부서짐강도는 파괴역학에 기초한 식은 제안되고 있지 않으나, 유효삽입깊이(h_{ef})에 따라 식 (5)와 같이 제시하고 있다.

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cb} \quad \text{lb (5)}$$

여기서

k_{cp} : 부서짐강도 계수.

$k_{cp}=1.0, h_{ef} < 2.5$ in.

$k_{cp}=2.0, h_{ef} \geq 2.5$ in.

N_{cb} : 인발하중 작용시 앵커의 콘크리트강도, lb.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

전단력을 받는 앵커의 강도는 콘크리트 강도, 앵커 간격, 연단거리, 하중방향, 부재 두께 등에 영향을 받는다. 본 연구에서는 연단거리 및 콘크리트 강도를 변수로 하여 각 직경별로 연단거리 및 콘크리트 강도와 전단내력의 관계를 규명하기 위하여 Table 3 및 Table 4와 같이 실험체를 계획하였다.

연단거리와 전단내력의 관계를 규명하기 위해, 강성이 서로 다른 고하중 앵커와 웨지 앵커를 대상으로 각 직경별로 연단거리(c_1)를 유효삽입깊이(h_{ef}) 0.5~2.5배까지 변화시켰다(실험체명 : C2~C6, 1조 2개). 그리고 연단거리에 영향을 받지 않는 앵커의 전단내력을 평가하기 위해 연단거리를 유효삽입깊이 3.5배 이상 떨어진 실험체를 계획하였다(실험체명 : C1, 1조 5개). 콘크리트 단부파괴 시 콘크리트 강도와 전단내력의 관계를 규명하기 위해, 앵커의 강성이 작은 웨지 앵커 사용하여 콘크리트 단부파괴를 유도하였다.

콘크리트 단부파괴를 유도하기 위해, M12 웨지 앵커는 연단거리를 55mm, M16과 M20 웨지 앵커는 각각 연단거리를 105mm로 계획하였다.

콘크리트 부서짐파괴 시 콘크리트 강도와 전단내력의 관계를 규명하기 위해, 앵커의 강성이 비교적 큰 고하중 앵커를 사용하여 콘크리트 부서짐 파괴를 유도하였다. 연단거리에 대한 영향을 배제하고 콘크리트 강도의 영향을 평가하기 위해서 M12 고하중 앵커는 연단거리를 250mm 이상, M16과 M20 고하중 앵커는 연단거리를 400mm 이상 확보하도록 계획하였다.

앵커 실험을 위한 비균열·무근콘크리트 실험체는 ASTM E 488-96에서 제시하고 연단거리($2.0 h_{ef}$) 및 실험체의 두께($1.5 h_{ef}$)를 확보하기 위해, 유효삽입 깊이(h_{ef})에 따라 각각 $1.6 \times 1.6 \times 0.3m$ 와 $1.5 \times 1.5 \times 0.3m$ 으로 직육면체의 실험체를 계획하였다.⁽⁵⁾

실험체에 대한 명명법은 다음과 같다.

H(S)16-AC1

H(S) : 고하중 앵커(웨지 앵커)

16 : 앵커볼트 직경(M16)

A : 콘크리트 강도(설계강도 A : 210 kgf/cm^2 ,

B : 300 kgf/cm^2 , C : 500 kgf/cm^2)

C1 : 연단거리(Table 3 참조)

3.2 가력 및 측정 방법

앵커의 전단실험은 ASTM E 488-96에 의하여 수행하였다. 하중은 로드셀(사용범위 51tf)을 설치 후 유압장비로 가력하였고, 데이터로거를 사용하여 초당 한번 씩 데이터를 측정하였다. 또한 앵커의 변위측정을 위하여 200mm 변위계(LVDT)를 설치하여 측정하였다.⁽⁵⁾ 실험

체에 사용한 구조 및 실험체 설치전경은 Fig. 5와 같다. 앵커의 설치과정은 적절한 직경의 비트로 구멍을 뚫은 후 구멍내의 먼지나 불순물을 제거한 뒤 앵커를 삽입하였다. 그리고 토크렌치를 사용하여 체결하였다.

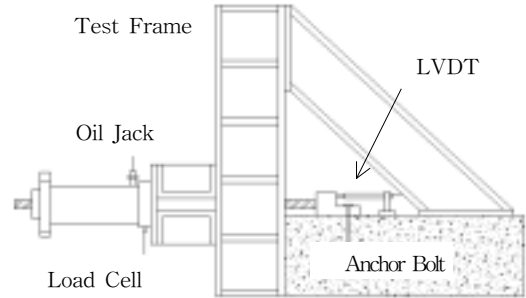


Fig. 5 전단 실험의 설치전경

4. 실험결과

4.1 소재 특성

본 실험에서 사용된 콘크리트의 배합 및 소재특성은 Table 1과 같다. 콘크리트 압축강도 실험은 KS F 2403에 따라 제작한 10개의 공시체를 실험체와 동일한 조건에서 28일 양생시킨 후, 콘크리트 압축강도 시험을 실시하였다. 고하중 앵커와 웨지 앵커의 인장강도는 볼트제조회사의 시험성적서를 사용하였으며, 앵커의 인장강도는 Table 2와 같다.

Table 2 앵커의 소재 특성

앵커의 종류	인장강도(tf/cm^2)
고하중 앵커	11.02
웨지 앵커	4.52

Table 1 콘크리트의 배합 및 소재 특성

설계강도 (kgf/cm^2)	슬럼프(cm)	물시멘트비(%)	공기량(%)	굵은골재최대치수(mm)	평균 압축강도(kgf/cm^2)
$210^{1)}$	8	55.9	4.5	25	221.0
$210^{2)}$	12	55.6	4.5	25	276.3
$300^{2)}$	12	43.5	4.5	25	412.0
$500^{2)}$	15	31.0	4.5	25	496.1

주) 1) : 연단거리가 변수인 실험체.

2) : 콘크리트 강도가 변수인 실험체.

4.2 앵커볼트의 전단내력

일반적으로 전단을 받는 앵커의 연단거리가 짧은 경우 파괴모드는 콘크리트 단부파괴가 지배적이며, 연단거리가 큰 경우에는 앵커의 강성에 따라 앵커파괴 또는 콘크리트 부서짐파괴가 지배적이다.

Table 3은 고하중 앵커와 웨지 앵커의 연단거리에 따른 실험값과 예측값을 비교한 것이다.

Table 4는 콘크리트 강도에 따른 실험값과 예측값을 비교한 것이다. 여기서 전단내력, 콘각도, 콘깊이는 평균값으로 나타내었다.

Table 3 연단거리에 따른 앵커의 전단실험 결과

실험체명	연단거리 (mm)	전단내력(tf)	콘각도, (°) (콘깊이,mm)	파괴모드	ACI 349-90(tf)	CCD(tf)	실험값과 예측값 비교	
		(1)			(2)	(3)	(1)/(2)	(1)/(3)
H12-AC1	250	10.37	-	CP	-	10.56 ¹⁾	-	0.982
H12-AC2	50	1.04	23.81(170)	CB	0.57	0.82	1.817	1.265
H12-AC3	80	1.60	20.87(190)	CB	1.46	1.66	1.097	0.967
H12-AC4	105	2.86	25.93(190)	CB	2.51	2.49	1.139	1.149
H12-AC5	155	4.85	34.54(240)	CB	5.47	4.46	0.885	1.085
H12-AC6	200	8.00	43.13(300)	CB	9.11	6.54	0.877	1.222
H16-AC1	400	17.09	-	CP	-	15.86 ¹⁾	-	1.077
H16-AC2	65	1.40	13.82(155)	CB	0.96	1.40	1.454	1.000
H16-AC3	105	2.91	18.46(210)	CB	2.51	2.87	1.158	1.012
H16-AC4	140	4.31	24.66(235)	CB	4.47	4.43	0.964	0.973
H16-AC5	205	10.47	42.73(280)	CB	9.58	7.84	1.093	1.335
H16-AC6	265	13.18	-	CS	-	11.52	0.823	1.143
H20-AC1	400	21.58	-	CP	-	21.86 ¹⁾	-	0.987
H20-AC2	80	3.05	14.47(220)	CB	1.46	2.06	2.088	1.475
H20-AC3	130	5.16	24.06(260)	CB	3.85	4.28	1.340	1.206
H20-AC4	175	7.93	26.41(280)	CB	6.98	6.68	1.136	1.187
H20-AC5	260	12.47	36.42(300)	CB	15.40	12.10	0.809	1.030
H20-AC6	325	13.57	-	CS	-	16.91	0.564	0.803
H24-AC1	400	27.58	-	CP	-	28.46 ¹⁾	-	0.969
S10-AC1	200	1.26	-	SS	-	1.42 ²⁾	-	0.888
S12-AC1	250	2.93	-	SS	-	2.29 ²⁾	-	1.281
S12-AC2	40	0.89	24.79(105)	CB	0.37	0.59	2.441	1.504
S12-AC3	55	1.33	23.22(130)	CB	0.69	0.95	1.922	1.388
S12-AC4	90	2.39	-	SS	-	2.29 ²⁾	-	1.045
S12-AC5	130	2.65	-	SS	-	2.29 ²⁾	-	1.157
S12-AC6	165	2.63	-	SS	-	2.29 ²⁾	-	1.148
S16-AC1	400	5.41	-	SS	-	4.26 ²⁾	-	1.271
S16-AC2	65	1.81	19.91(135)	CB	0.96	1.37	1.875	1.315
S16-AC3	105	3.36	18.47(180)	CB	2.51	2.82	1.336	1.190
S16-AC4	145	4.30	-	SS	-	4.26 ²⁾	-	1.009
S16-AC5	185	5.37	-	SS	-	4.26 ²⁾	-	1.261
S16-AC6	225	5.03	-	SS	-	4.26 ²⁾	-	1.181
S20-AC1	400	8.91	-	SS	-	6.64 ²⁾	-	1.340
S20-AC2	85	2.43	19.61(170)	CB	1.65	2.34	1.473	1.037
S20-AC3	105	4.31	24.28(190)	CB	2.51	3.21	1.714	1.340
S20-AC4	145	6.98	25.62(250)	CB	4.79	5.21	1.457	1.339
S20-AC5	185	6.81	-	SS	-	6.64 ²⁾	-	1.025
S20-AC6	225	8.36	-	SS	-	6.64 ²⁾	-	1.258

주) 파괴모드에서 SS : steel failure, CP : concrete pryout, CB : concrete breakout, CS : concrete splitting failure를 의미한다.

1) : 식(5)에 의해서 구한 ACI 318-02 콘크리트 부서짐강도를 의미한다

2) : 식(1)에 의해서 구한 ACI 318-02 앵커파괴강도를 의미한다

Table 4 콘크리트 강도에 따른 앵커의 전단실험 결과

실험체명	콘크리트강도 (kgf/cm ²)	전단내력 (tf)	콘각도, (°) (콘깊이,mm)	파괴모드	ACI 349-90(tf)	CCD(tf)	실험값과 예측값 비교	
		(1)			(2)	(3)	(1)/(2)	(1)/(3)
H20-AC1	221.0	21.58	-	CP	-	22.42 ²⁾	-	0.963
H20-BC1	412.0	26.43	-	CP	-	30.53 ²⁾	-	0.865
H20-CC1	496.1	28.70	-	CP	-	34.14 ²⁾	-	0.841
H16-AC1	221.0	17.09	-	CP	-	16.27 ²⁾	-	1.050
H16-BC1	412.0	19.40	-	CP	-	22.16 ²⁾	-	0.875
H16-CC1	496.1	20.64	-	CP	-	24.79 ²⁾	-	0.833
H12-AC1	221.0	10.37	-	CP	-	10.82 ²⁾	-	0.959
H12-BC1	412.0	13.30	-	SS	-	14.74 ¹⁾	-	0.902
H12-CC1	496.1	12.40	-	SS	-	14.74 ¹⁾	-	0.841
S20-AC3	221.0	4.31	24.28(190)	CB	2.51	3.17	1.714	1.358
S20-AC3	276.3	5.46	21.33(203)	CB	2.81	3.55	1.944	1.539
S20-BC3	412.0	4.77	16.21(203)	CB	3.43	4.32	1.392	1.104
S20-CC3	496.1	5.51	17.22(208)	CB	3.76	4.75	1.465	1.160
S16-AC3	221.0	3.36	18.47(180)	CB	2.51	2.78	1.336	1.208
S16-AC3	276.3	3.16	15.84(160)	CB	2.81	3.08	1.125	1.027
S16-BC3	412.0	5.15	-	SS	-	4.25 ¹⁾	-	1.211
S16-CC3	496.1	4.67	17.67(160)	CB	3.76	4.16	1.241	1.124
S12-AC3	221.0	1.33	23.22(130)	CB	0.69	0.94	1.922	1.404
S12-AC3	276.3	1.11	13.96(128)	CB	0.77	1.05	1.440	1.059
S12-BC3	412.0	1.68	16.82(125)	CB	0.94	1.29	1.782	1.296
S12-CC3	496.1	1.77	17.55(100)	CB	1.03	1.42	1.714	1.250

주) 파괴모드에서 SS : steel failure, CP : concrete pryout, CB : concrete breakout, CS : concrete splitting failure를 의미한다.

1) : 식(5)에 의해서 구한 ACI 318-02 콘크리트 부서짐강도를 의미한다

2) : 식(1)에 의해서 구한 ACI 318-02 앵커파괴강도를 의미한다

4.2.1 콘크리트 단부파괴

콘크리트 단부파괴를 보이는 모든 종류의 앵커 파괴 하중은 콘크리트 강도, 연단거리, 앵커의 강성 그리고 삽입깊이에 영향을 받는다.

실험 결과 콘크리트 단부파괴형상은 콘 모양으로 나타났다. 그리고 단부파괴는 앵커의 상단부분으로부터 시작되었다. 또한 강성이 큰 고하중 앵커는 연단거리가 증가함에 따라 단부파괴에서 콘크리트 부서짐파괴로 나타났다. 그러나 강성이 작은 웨지 앵커의 경우 연단거리가 증가함에 따라 단부파괴에서 앵커파괴로 파괴모드가 변화였다.

Table 3에서 H20-AC6와 H16-AC6 실험체는 실험값이 단부파괴강도 예측값보다 떨어지는데 이는 파괴모드가 콘크리트의 쪼개짐(concrete splitting)파괴에 의한 것으로 판단된다.

Fig. 6은 연단거리와 전단내력의 관계를 나타낸 것이다. SI 단위로, 각각의 실험값 및 예측값을 고하중 앵커 M20, 콘크리트강도 221kgf/cm²로 무차원화하기 위하여 실험값 및 예측값에 $\left(\frac{2}{l/d_o}\right)^{0.2} \sqrt{\frac{28}{d_o}} \sqrt{\frac{21.67}{f_c}}$ 을 곱하였다.

또한 CCD 설계방법 및 ACI 349-90의 예측값을 각각 실선 및 점선으로 나타내었다. Fig. 7은 연단거리와 실험값/ACI 349-90 예측값의 비로 나타낸 것이다. Fig 8은 연단거리와 실험값/CCD 방법 예측값의 비로 나타낸 것이다. Fig. 7에서 ACI 349-90 예측값은 연단거리가 작은 경우 매우 안전측으로 설계를 하고 있으나 연단거리가 증가함에 따라 ACI 349-90 예측값이 과대평가되고 있음을 알 수 있었다.

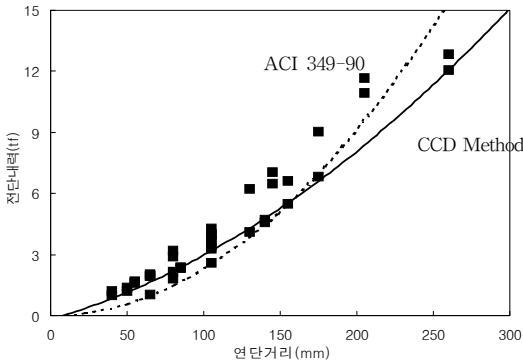


Fig. 6 연단거리에 따른 단부파괴강도

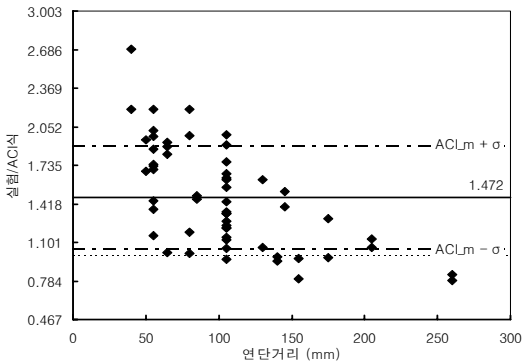


Fig. 7 ACI 349-90에 의한 단부파괴강도 비교

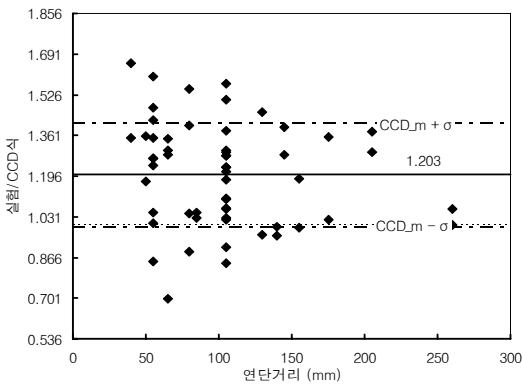


Fig. 8 CCD 방법에 의한 단부파괴강도 비교

반면에 Fig. 8에서 CCD 방법은 연단거리의 변화에 따라 편차는 있으나 연단거리가 증가함에 따라 예측값이 감소되는 경향은 없다. ACI 349-90의 예측값의 감소되는 경향은 CCD 방법에서 고려되고 있는 앵커

의 직경 및 l/d_o 비가 고려되지 않아서 나타난 것으로 판단된다.

ACI 349-90과 CCD 방법에 의한 예측값과 실험값을 통계처리한 결과, ACI 349-90의 무차원 평균(실험값/ACI 349-90 예측값비의 평균)은 1.472, 변동계수(coefficient of variation)는 0.287로 나타났다. 그러나 CCD 방법의 무차원 평균(실험값/CCD 방법 예측값 비의 평균)은 1.203, 변동계수는 0.175로 나타났다. 이로 미루어 ACI 349-90보다는 CCD 방법이 실험값과 예측값이 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 그러나 CCD 방법의 예측값도 실험값 보다 약 20%정도 크게 나타났는데 이는 지그와 콘크리트의 마찰에 의한 것으로 판단된다. 참고문헌 3의 연구에서도 유럽의 실험결과와 ASTM E 488-96에 의한 미국의 실험결과를 비교한 결과 약 20%정도 미국의 실험값이 크게 나타났다. 유럽의 앵커 전단실험은 마찰을 방지하기 위해 fluoropolymer sheet을 사용하므로 실험값이 약 20%정도 작게 나타나는 것으로 판단된다. 이로 미루어 CCD 방법에 의한 콘크리트 단부파괴강도의 예측은 매우 정확함을 알 수 있었다.

Fig. 9는 콘크리트 단부파괴 시 콘각도(α)를 나타낸 것이고, Fig. 10은 실험 시 측정된 콘각도와 연단거리의 관계를 나타탄낸 것이다. CCD 방법에서는 단부파괴강도 추정시 콘각도 α (breakout cone angle, Fig. 8)을 35° 로 콘깊이를 연단거리(c_1)의 1.5배로 가정하였다. 그러나 실험 결과 콘각도와 콘깊이는 연단거리가 증가함에 따라 점점 증가하였다.

콘크리트 단부파괴가 발생한 실험체의 콘각도와 콘깊이를 통계처리한 결과, 콘각도 평균은 21.85° 이며, 변동계수는 0.369로 나타났다. 또한 콘깊이 평균은 $2.00 c_1$ 으로 나타났다. CCD 설계방법에서 제안하고 있는 콘각도와 콘깊이는 실험결과와는 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 추후 이에 관한 연구가 필요하다고 판단된다.

Fig. 11은 콘크리트 강도에 따른 ACI 349-90 예측값과 콘크리트 단부파괴가 발생한 실험체의 실험값을 통계 처리하여 나타낸 것이다. 실험값/ACI 349-90 예측값의 무차원 평균은 1.578, 표준편차는 0.310, 변

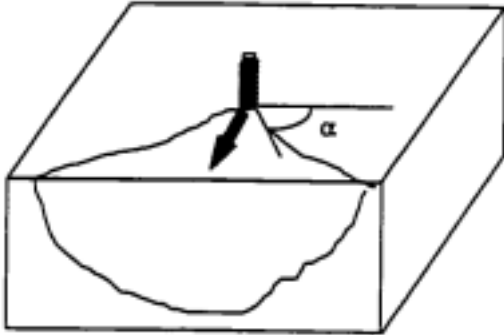


Fig. 9 단부파괴 시 콘각도

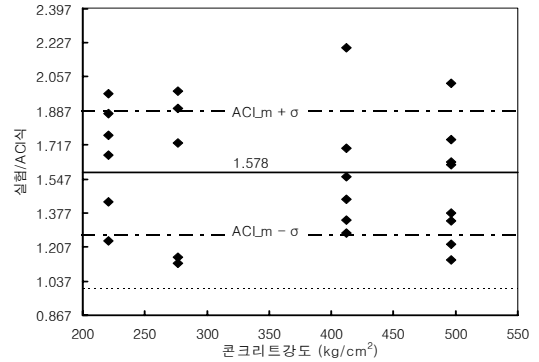


Fig. 11 ACI 349-90에 의한 단부파괴강도 비교

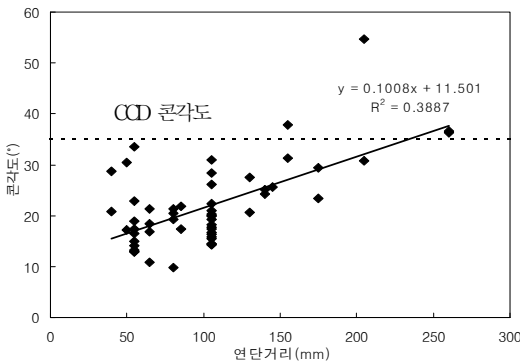


Fig. 10 연단거리에 따른 콘각도

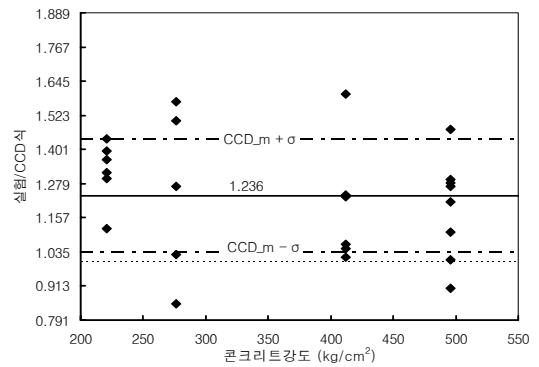


Fig. 12 CCD 방법에 의한 단부파괴강도 비교

동계수가 0.197이다. ACI 349-90 기준에서 제시하는 기준식은 과소설계가 되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 12는 콘크리트 강도에 따른 CCD 방법과 콘크리트 단부파괴가 발생한 실험체의 실험값을 통계 처리하여 나타낸 것이다. 통계 처리한 결과, 실험값/CCD 방법 예측값의 무차원 평균은 1.236, 표준편차는 0.202, 변동계수가 0.163이다. 이로 미루어 CCD 방법이 실험값과 비교적 잘 일치하고 있으며, 편차도 작음을 알 수 있었다.

4.2.2 앵커파괴

앵커파괴(Steel strength of anchor)는 앵커의 강성이 작고 연단거리가 클 경우에 일반적으로 발생한다. 본 실험에서는 앵커의 인장강도가 작은 웨지앵커에서 주로 발생하였으며, 동일한 콘크리트 강도에서는

연단거리가 큰 경우에 나타났다.

콘크리트 강도가 증가함에 따라 앵커파괴 강도는 큰 차이가 없으나, 콘크리트 강도가 낮은 경우 콘크리트 단부파괴가 일어났으나, 콘크리트 강도가 증가함에 따라 파괴모드가 앵커파괴로 변하였다. 이는 연단거리가 비교적 작더라도 콘크리트 강도가 증가함으로써 연단거리가 충분히 확보된 것과 같이 콘크리트의 앵커 구속효과가 충분히 확보된 것으로 판단된다.

Fig. 13은 ACI 318-02에서 제안하고 있는 식(1)에 따라 예측값과 실험값을 무차원화 하여 나타내었다. 통계 처리한 결과 실험값/ACI 318-02 예측값의 무차원 평균은 1.196이고, 표준편차는 0.151, 변동계수는 0.126으로 나타났다.

ACI 318-02 기준에서 후시공 앵커에 대해서 앵커파괴강도는 식(1)과 같이 제안하였다.

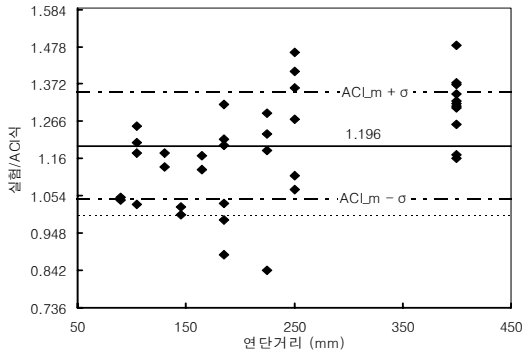


Fig. 13 ACI 318-02에 의한 앵커강도 비교

여기서 앵커파괴강도는 감소계수에 앵커의 인장강도와 유효단면적을 곱함으로써 구할 수 있다. 감소계수는 van Mises Model에 의해서 0.6으로 제안되었다. 그러나 실험값이 ACI 318-02 예측값보다 약 20%정도 크게 나타났는데, 이는 콘크리트 단부파괴 시와 같이 지그와 콘크리트의 마찰에 의한 것으로 판단된다. 이로 미루어 앵커파괴강도에 대한 기준식은 신뢰할 수 있음을 알 수 있었다.

4.2.3 콘크리트 부서짐

앵커의 강성이 크고, 단부에서 멀리 떨어진 앵커의 파괴모드는 앵커 앞부분의 콘크리트를 국부적으로 파괴시
Table 5 콘크리트 강도별 부서짐강도

콘크리트강도 (kgf/cm ²)	무차원평균	표준편차	변동계수
221.0	1.008	0.062	0.062
412.0	0.894	0.020	0.023
496.1	0.835	0.045	0.054

키는 콘크리트 부서짐(Concrete pryout strength)

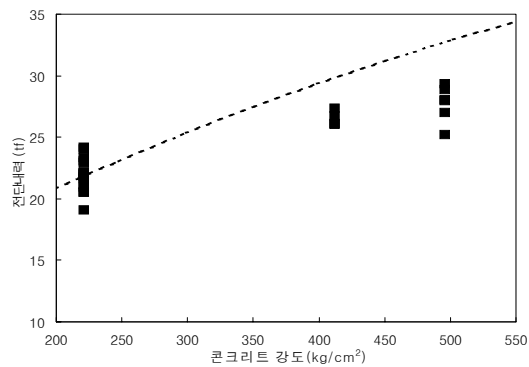


Fig. 14 콘크리트강도에 따른 부서짐강도

이 일어난다(Fig. 4 참조). 콘크리트 부서짐강도에 대해 콘크리트 파괴역학을 도입한 제안식은 현재까지는 제안되지 않은 실정이다. ACI 318-02에서는 콘크리트 부서짐강도를 인발하중 받는 앵커의 콘크리트강도에 부서짐강도 계수(유효삽입깊이가 2.5in. 이상인 경우 : 2)를 곱하여 구한다.

Table 5에서 콘크리트 강도가 221kgf/cm²인 경우에는 콘크리트 부서짐 강도 예측값과 실험값의 무차원

평균은 1.008로 두 값은 거의 일치하였다. 그러나 콘크리트 강도가 증가함에 따라 콘크리트 부서짐강도는 약간은 상승하였으나, 콘크리트 단부파괴 시 콘크리트 강도 증가에 따른 단부파괴 강도의 증가율에 비해서 콘크리트 부서짐 강도 증가율은 많이 떨어짐을 알 수 있었다.

Fig. 14는 콘크리트 강도와 전단내력의 관계를 나타낸 것이다. 점선은 ACI 318-02의 부서짐강도 예측값을 나타낸 것이다.

Fig. 15는 콘크리트 강도에 따른 ACI 318-02 기준에서 제시하고 있는 콘크리트 부서짐강도와 콘크리트 부서짐파괴가 일어난 실험체의 실험값을 통계 처리하여 나타낸 것이다. 통계 처리한 결과, 실험값/ACI

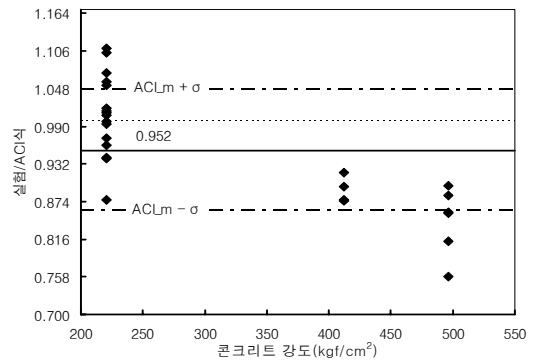


Fig. 15 ACI 318-02에 의한 부서짐강도 비교

318-02 예측값의 무차원 평균은 0.952, 표준편차는 0.091, 변동계수가 0.095이다.

본 실험결과와 비교할 때 ACI 318-02 기준의 부서짐강도는 콘크리트 강도가 증가함에 따라 과대평가하는 경향이 있음 알 수 있었다. 추후 콘크리트 부서짐강도에 관한 연구가 필요하다고 판단된다.

5. 결론

익스팬션 앵커인 고하중 앵커(Heavy-duty anchor)와 웨지 앵커(Wedge anchor)를 대상으로 연단거리 및 콘크리트 강도를 변수로 한 전단실험 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘크리트 단부파괴강도 추정시 CCD 방법은 실험값

과 예측값이 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. CCD 방법에서 가정하고 있는 콘각도와 콘깊이는 실험결과와는 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다.

- 2) 앵커파괴강도 추정시 ACI 318-02 기준은 예측값과 실험값은 비교적 잘 일치 하는 것으로 나타났다. 이로 미루어 앵커파괴강도에 대한 ACI 318-02 기준식은 신뢰할 수 있음을 알 수 있었다
- 3) ACI 318-02 기준의 부서짐파괴 강도는 콘크리트 강도가 증가함에 따라 과대평가 하는 경향이 있음을 알 수 있었다. 추후 콘크리트 부서짐강도에 관한 연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 원진정공의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute. 2002.
2. ACI Committee 349, "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures. American Concrete Institute. Detroit, 1990.
3. Werner Fuchs, Rolf Eligehausen, and John E. Breen "Concrete Capacity Design(CCD) Approach for Fastening to Concrete" ACI Structural Journal. vol.92, No1, 1995.
4. EOTA, Annex C : Design Methods for Anchorages, 2001.
5. ASTM E 488-96, "Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements", 1996.

(접수일자 : 2003년 3월 12일)