

# 연단거리에 따른 무근콘크리트 단일앵커의 콘파괴 인발 내력에 관한 적용성 평가

## Evaluation and Application of Pullout Strength of Single Anchor in Plain Concrete According to Edge Distance

김 영 호\*                      유 성 근\*  
Kim, Young-Ho              You, Sung-Gyun

### Abstract

This paper presents the evaluation of pullout strengths of expansion anchors and wedge anchors that can cause a failure of the concrete on the basis of the design for anchorage. Tests are conducted for heavy-duty anchors and wedge anchors domestically manufactured and to be installed in plain concrete member. The mainly testing parameters reflected the effects of edge distance. Design of post-installed steel anchors is presented by the Concrete Capacity Design(CCD) in European Organization for Technical Approval. This approach is compared to the well-known provisions, ACI 349-90 specification. The use of both methods to predict the concrete failure load of expansion anchor in uncracked concrete under monotonic loading for important applications is compared. In this study, the concrete tension capacity of fastenings with Heavy-duty Anchors and Wedge Anchors in plain concrete predicted by ACI 349-90 and the Concrete Capacity Design method has been compared with the results of tests.

### 요 지

본 연구의 대상은 익스팬션 앵커에 해당하는 국내산 중량물 앵커(heavy duty anchor)와 웨지 앵커(wedge anchor)에 대해서 앵커설계의 기초가 되는 콘파괴를 중심으로 무근콘크리트에서의 인발실험으로 국한된다. 각각의 앵커에 대해 ACI 349-90 설계기준과 EOTA (European Organization for Technical Approval) 기준의 근거인 CCD 설계방법에 의해서 연단거리를 변수로 한 앵커의 콘파괴강도 예측값과 실험값을 비교·평가하고자 하며, 이 연구를 근거로 하여 국내산 앵커를 구조설계에 적용시 기초자료 제공을 목적으로 한다.

**Keywords :** Heavy duty anchor, Wedge anchor, Pullout strength, Edge distance

**핵심 용어 :** 중량물 앵커, 웨지 앵커, 인발내력, 연단거리

\* 정회원, 비비엠펜코리아(주) 기술연구소, 공학박사

E-mail : steelkyh@dreamwiz.com 011-9733-5655

• 본 논문에 대한 토의를 2003년 12월 31일까지 학회로 보내  
주시면 2004년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

앵커는 높은 사용안전도를 요구하는 강구조물 또는 철근콘크리트구조물에서 1차 또는 2차 구조요소나 중량물을 고정시키거나 부착하는데 사용되는 건설공사작업에 있어서 필수제품이다. 1990년대 들어서, 건물의 유지관리 및 보수, 보강, 재건축, 리모델링이 증가하는 추세에 따라 앵커의 사용량이 크게 증가하고 있는 실정이나 현재 국내에서 앵커에 대해 설계자와 시공자가 신뢰할 수 있는 명확한 설계기준이나 혹은 적용방안 관련한 성능기준이 없는 상태이다.

따라서 본 연구의 목적은 국외 앵커시스템 설계기준인 미국의 ACI 349-90<sup>6)</sup> 설계기준과 독일 등 유럽에서 제시하고 있는 CCD<sup>3)</sup>(Concrete Capacity Design) 설계방법에 대해 익스팬션 앵커에 해당하는 국내산 중량물 앵커(heavy duty anchor)와 웨지 앵커(wedge anchor)에 대해 인발내력을 평가해보고자 한다.

또한 연구의 내용 및 범위는 익스팬션 앵커에 해당하는 국내산 중량물 앵커(heavy duty anchor)와 웨지 앵커(wedge anchor)에 대한 인발실험으로 국한한다. 각각의 앵커에 대해 ACI 349-90 설계기준과 EOTA (European Organization for Technical Approval) 기준의 근거인 CCD 설계방법에 의해서 연단거리를 변수로 한 앵커의 콘파괴강도 예측값과 실험값을 비교·평가한다.

## 2. 앵커시스템의 설계기준

### 2.1 ACI 349-90 Appendix B<sup>6)</sup> 설계기준

원자력발전소와 같은 중요구조물의 안전에 대한 관심 때문에 ACI 349-90 설계기준은 주로 연성적으로 파괴가 일어나도록 설계를 유도하고 있으며, 취성적인 콘크리트 파괴를 막기 위하여 원추형 모델이 소개되었다. 인장하중 하에서 ACI 349-90 설계기준은 45° 기울어진 원추형 파괴모양의 투영된 단면적 전체에  $\phi 4\sqrt{f'_c}$ 의 균일한 인장응력이 작용한다고 가정하였다. 또한 부재의 두께는 콘크리트 원추형 파괴강도의

저하를 막기 위하여 충분히 크다고 가정하였다. Fig. 1은 ACI 349-90 설계기준에 따른 인발하중을 받는 이상화된 콘파괴 형상을 보여주고 있다. Fig. 2는 콘크리트 콘파괴시 파괴양상이다.

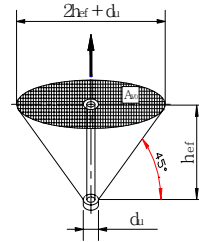


Fig. 1 ACI 349-90 설계기준에 따른 인발하중을 받는 이상화된 콘파괴 형상

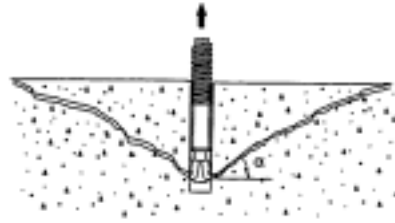


Fig. 2 콘크리트 콘파괴시 파괴양상

연단거리의 영향이나 원추형의 겹침이 없는 단일앵커에 있어서, 인발강도는 원추형 응력의 실제 투영면적에 인발응력을 곱한 식(1)과 같다.

$$N_{no} = 0.96 \sqrt{f_{cc}'} h_{ef}^2 \left(1 + \frac{d_u}{h_{ef}}\right) \quad (1)$$

여기서,  $N_{no}$  = 콘크리트 파괴강도(N)

$f_{cc}'$  = 200mm 정육면체로 측정된 콘크리트 압축강도(N/mm<sup>2</sup>),

$$\sqrt{f_{cc}'} = 1.18 \sqrt{f'_c}$$

$h_{ef}$  = 유효매입깊이(mm)

$d_u$  = 앵커머리의 두께(mm)

연단의 영향을 받는 앵커( $c < h_{ef}$ ,  $c$  = 연단거리) 또는 다른 콘크리트 파괴콘의 영향을 받는 앵커( $s < 2h_{ef}$ ,  $s$  = 앵커간격)의 경우 평균 파괴강도는 식(2)와 같다.

$$N_n = \frac{A_N}{A_{No}} \cdot 0.96 \sqrt{f_{cc}'} h_{ef}^2 \left(1 + \frac{d_u}{h_{ef}}\right) \quad (2)$$

여기서,  $N_n$  = 연단의 영향 또는 다른 콘크리트 파괴콘의 영향(앵커간격의 영향)을 받을 때, 콘크리트 파괴강도(N)

$A_N$  = 연단거리 영향 또는 앵커간격에 대한 투영면적(mm<sup>2</sup>)

$A_{No}$  = 앵커군의 이상화된 투영면적(mm<sup>2</sup>)

## 2.2 CCD<sup>3)</sup> 설계 방법

독일 등 유럽에서 제시하고 있는 CCD 설계방법(Concrete Capacity Design)은 콘크리트의 인장응력, 파괴면적, 그리고 콘크리트의 크기효과를 고려하였다. CCD 설계방법은 파괴면과 콘크리트면 사이가 Fig. 3과 같이 35° 기울어져 파괴가 일어난다고 가정하고 있다.

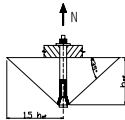


Fig. 3 CCD 설계방법에서의 이상화된 콘파괴 각도

인장하중 작용시 연단의 영향을 받지 않고, 주위 앵커의 피라미드 파괴 영향면과 겹치는 부분이 없는 단일앵커의 경우, 콘크리트 피라미드 파괴강도  $N_{no}$ 는 식 (3)과 같다.

$$N_{no} = k_{nc} \sqrt{f_{cc}'} h_{ef}^{1.5} \quad (3)$$

여기서,  $N_{no}$  = 콘크리트 파괴강도(N)

$k_{nc} = 13.5$  (post-installed anchors)

$k_{nc} = 15.5$  (cast-in-place anchors)

$f_{cc}' = 200\text{mm}$  정육면체의 콘크리트 압축강도 (N/mm<sup>2</sup>),  $\sqrt{f_{cc}'} = 1.18 \sqrt{f_c'}$

$h_{ef}$  = 유효매입깊이(mm)

연단거리 영향 또는 겹치는 콘파괴에 따른 영향이 있을 경우, 콘크리트 파괴강도는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$N_n = \frac{A_N}{A_{No}} \psi_2 N_{no} \quad (4)$$

여기서,  $N_{no}$  = 콘크리트 파괴강도(N)

$A_{No}$  = 앵커군의 이상화된 투영면적(mm<sup>2</sup>)

$A_N$  = 연단거리 영향 또는 앵커간격에 대한 투영면적(mm<sup>2</sup>)

$\psi_2$  = 연단거리의 원인으로 발생하는 응력 분배계수

$$= 1 \quad (c_1 \geq 1.5 h_{ef})$$

$$= 0.7 + 0.3 \frac{c_1}{1.5 h_{ef}} \quad (c_1 \leq 1.5 h_{ef})$$

$c_1$  = 가까운 모서리의 연단거리

Fig. 4는 단일앵커의 이상화된 투영면적( $A_{No}$ )과 연단거리에 따른 단일앵커의 투영면적( $A_N$ )을 나타낸다. 단일앵커의 투영면적은  $A_{No} = 9h_{ef}^2$ 이고, 연단거리에 따른 단일앵커의 투영면적은  $c_1 \leq 1.5 h_{ef}$ 일때,  $A_N = (c_1 + 1.5 h_{ef})(2 \times 1.5 h_{ef})$ 이다.



Fig. 4 단일앵커의 이상화된 투영면적( $A_{No}$ )과 연단거리에 따른 단일앵커의 투영면적( $A_N$ )

### 3. 실험 계획 및 방법

#### 3.1 실험체 계획

실험체 계획은 국내산 중량물 앵커와 웨지 앵커에 대하여 중요한 변수인 연단거리별로 앵커거동의 영향을 고려하여 실험체를 계획하였다. Table 1은 실험체 일람표로 실험체의 총합은 73개이다. 기본형 실험체의 경우, 실험수를 각각의 앵커에 따라 5개로 하였고, 연단거리 간격별로 각각의 앵커에 대해 실험수를 2개로 하였다. 실험체명에서 AC1H1은 앵커의 기본형을 말하며, 실험체 명명법은 다음과 같다.

**H(S) T 16 -A C H**

여기서, H(S) : 중량물앵커(웨지앵커)

T : 인발실험 16 : 앵커직경

A : 콘크리트 설계기준강도(210 kgf/cm<sup>2</sup>)

C : 연단거리 H : 매입깊이

#### 3.2 사용재료의 특성

중량물 앵커는 머리에 와셔·너트, 삽입부에는 콘을 가진 나사부 또는 볼트부로 구성되어 있고, 콘 주위에는 확장형 슬리브가 있다(Fig. 5). 볼트 또는 너트를 조임으로써 삽입부의 콘이 확장형 슬리브를 통하여 돌출되게 되며, 천공부의 측면에 대해 슬리브가 팽창하게 된다. 이로 인하여 앵커에 작용하는 인장 저항력은 콘크리트와 슬리브의 맞물림 작용과, 슬리브와 콘크리트면 사이의 마찰작용 등에 조합으로 발생되게 된다. 그러므로 인장내력은 볼트내력과 매입깊이에 의해 정해지게 된다.

웨지앵커는 너트와 와셔를 가진 강제 stud 앵커로 구성되어 있다(Fig. 6). 스테드앵커 하부는 팽창 가능한 클립 또는 웨지를 가진 변단면으로 되어 있다. 너트 체결로 클립이나 웨지가 변단면의 축을 따라 치켜올라가게 되어 천공부의 내부면과 볼트 축 사이에 썩기를 형성하게 된다.

Table 1 연단거리에 따른 실험체 일람

실험체명	갯수 (개)	설계기준강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	연단거리 (mm)	매입 깊이 (mm)	토크값 (Nm)
HT16-AC1H1	5	210	400	105	200
HT16-AC2H1	2	210	65	105	200
HT16-AC3H1	2	210	105	105	200
HT16-AC4H1	2	210	140	105	200
HT16-AC5H1	2	210	205	105	200
HT16-AC6H1	2	210	265	105	200
HT12-AC1H1	5	210	250	80	80
HT12-AC2H1	2	210	50	80	80
HT12-AC3H1	2	210	80	80	80
HT12-AC4H1	2	210	105	80	80
HT12-AC5H1	2	210	155	80	80
HT12-AC6H1	2	210	200	80	80
ST20-AC1H1	5	210	400	110	200
ST20-AC2H1	2	210	80	110	200
ST20-AC3H1	2	210	130	110	200
ST20-AC4H1	2	210	180	110	200
ST20-AC5H1	2	210	230	110	200
ST20-AC6H1	2	210	275	110	200
ST16-AC1H1	5	210	250	80	100
ST16-AC2H1	2	210	65	80	100
ST16-AC3H1	2	210	105	80	100
ST16-AC4H1	2	210	145	80	100
ST16-AC5H1	2	210	185	80	100
ST16-AC6H1	2	210	225	80	100
ST12-AC1H1	5	210	200	70	50
ST12-AC2H1	2	210	55	70	50
ST12-AC3H1	2	210	90	70	50
ST12-AC4H1	2	210	130	70	50
ST12-AC5H1	2	210	165	70	50

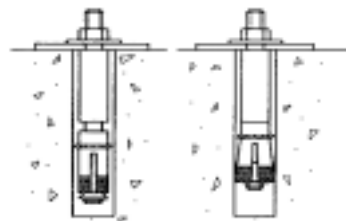


Fig. 5 중량물 앵커(heavy duty anchor)

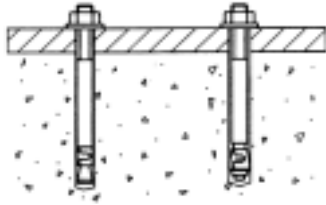


Fig. 6 웨지앵커(wedge anchor)

앵커설계시 앵커의 항복강도는 명확하지 않으므로 설계식에서 인장강도만 사용하고 있다. 본 실험에서는 국내 W사에서 생산된 제품을 사용하였으며, 중량물 앵커와 웨지 앵커의 제품 인장강도는 각각 110.18 kgf/mm<sup>2</sup>과 45.2 kgf/mm<sup>2</sup>이다. 본 실험에서 사용된 콘크리트는 레미콘을 사용하였으며, 설계 배합표는 Table 2와 같다.

Table 2 설계배합표

설계기준강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	슬럼프 (cm)	물시멘트비 (%)	공기량 (%)	굵은골재최대 치수(mm)
210	8	55.9	4.5	25

KS F 2403에 따라 제작한 10개의 공시체는 실험체와 동일한 조건에서 28일 양생시킨 후 UTM(사용범위 200 tonf)을 사용하여 콘크리트 압축강도를 시험한 결과 설계기준강도 210 kgf/cm<sup>2</sup>에 대해서 평균 압축강도가 223.35 kgf/cm<sup>2</sup>으로 산출되었다.

### 3.3 가력 및 측정방법

본 연구에서 앵커의 가력방법은 하중측정기인(범위 51 tonf)을 설치후 하중은 유압식 가력장치(범위 60 tonf)를 이용하여 하중제어방법으로 증가시키며, 점진적으로 가력하였다. 또한 실험체인 앵커 변위 발생을 측정하기 위하여 200mm 변위계를 설치하였으며, 정적 변형률측정기를 이용하여 하중 및 변위량을 초당 한번씩 측정하였다. Photo 1은 실험체 및 가력장치의 설치전경을 보여준다.

앵커를 매입깊이에 따라 삽입시에 볼트 또는 너트는 토크관리법에 의해서 볼트를 볼크구멍에 삽입하여 스

패너 등으로 손체결후, 토크렌치를 사용하여 앵커의 제시하는 기본 토크값에 의하여 조임을 실시하였다. 앵커실험을 위한 비균열·무근콘크리트 단면은 연단거리(2.0  $h_{ef}$ ) 및 실험체의 두께(1.5  $h_{ef}$ )를 확보하기 위해 유효매입깊이( $h_{ef}$ )에 따라 각각 1.6m×1.6m×0.3m와 1.5m×1.5m×0.3m로 거푸집을 제작하여 레미콘으로 콘크리트를 타설하였다. 1.6m×1.6m×0.3m 콘크리트블록은 중량물앵커 M16과 웨지앵커 M20, M16의 인발실험을 수행하였고, 1.5m×1.5m×0.3m 콘크리트블록은 중량물앵커 M12와 웨지앵커 M12의 인발실험을 수행하였다.

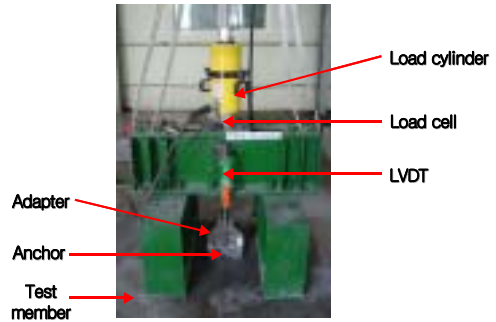


Photo 1 실험구좌모습

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 연단거리에 따른 콘 파괴 강도

연단거리에 따른 ACI 349-90<sup>6)</sup> 설계기준과 CCD<sup>3)</sup> 설계방법의 예측값과 파괴모드가 콘파괴로 발생한 54개 실험체의 실험값을 중량물 앵커와 웨지 앵커별로 나열하면, 각각 Table 3과 Table 4와 같다. 중량물 앵커의 경우 25개 실험체에서 콘파괴가 발생하였고, 웨지 앵커의 경우 29개 실험체에서 콘파괴가 발생하였다.

또한 콘파괴가 발생하지 않은 중량물 앵커의 실험체를 살펴보면, HT16-AC2H1과 HT16-AC3H1의 실험체는 연단거리가 작기 때문이며 이로 인해 앵커 슬립의 팽창력을 견디지 못하고 콘크리트 쪼갬파괴가 발생하였다. 그러나 쪼갬파괴된 실험체는 결과 분석시 제외 대상한다.

Table 3 Heavy duty Anchor의 연단거리에 따른 콘파괴 강도

실험체명	연단거리 (mm)	ACI연단거리 감소계수	ACI349-90 (tf)	CCD연단거리 감소계수	CCD (tf)	실험값 (tf)	파괴모드	실험값 /ACI	실험값 /CCD
HT16-AC4H1	140	1.000	6.87	0.944	7.73	7.94	콘파괴	1.156	1.028
	140	1.000	6.87	0.944	7.73	5.76	콘파괴	0.839	0.746
HT16-AC5H1	205	1.000	6.87	1.000	8.18	6.25	콘파괴	0.910	0.764
HT16-AC6H1	265	1.000	6.87	1.000	8.18	7.52	콘파괴	1.095	0.919
	265	1.000	6.87	1.000	8.18	9.63	콘파괴	1.402	1.177
HT16-AC1H1	400	1.000	6.87	1.000	8.18	7.69	콘파괴	1.120	0.940
	400	1.000	6.87	1.000	8.18	10.19	콘파괴	1.484	1.246
	400	1.000	6.87	1.000	8.18	9.69	콘파괴	1.411	1.185
	400	1.000	6.87	1.000	8.18	9.96	콘파괴	1.450	1.218
HT12-AC2H1	50	0.839	3.34	0.708	3.85	5.45	콘파괴	1.632	1.414
	50	0.839	3.34	0.708	3.85	3.63	콘파괴	1.087	0.942
HT12-AC3H1	80	0.982	3.91	0.833	4.53	6.18	콘파괴	1.581	1.363
	80	0.982	3.91	0.833	4.53	6.14	콘파괴	1.571	1.354
HT12-AC4H1	105	1.000	3.98	0.938	5.10	6.52	콘파괴	1.639	1.279
	105	1.000	3.98	0.938	5.10	5.29	콘파괴	1.330	1.037
HT12-AC5H1	155	1.000	3.98	1.000	5.44	6.67	콘파괴	1.676	1.226
	155	1.000	3.98	1.000	5.44	5.51	콘파괴	1.385	1.013
HT12-AC6H1	200	1.000	3.98	1.000	5.44	6.87	콘파괴	1.727	1.263
	200	1.000	3.98	1.000	5.44	6.85	콘파괴	1.722	1.259
HT12-AC1H1	250	1.000	3.98	1.000	5.44	5.74	콘파괴	1.443	1.055
	250	1.000	3.98	1.000	5.44	7.49	콘파괴	1.882	1.377
	250	1.000	3.98	1.000	5.44	7.05	콘파괴	1.772	1.296
	250	1.000	3.98	1.000	5.44	5.47	콘파괴	1.375	1.006
	250	1.000	3.98	1.000	5.44	7.01	콘파괴	1.762	1.289

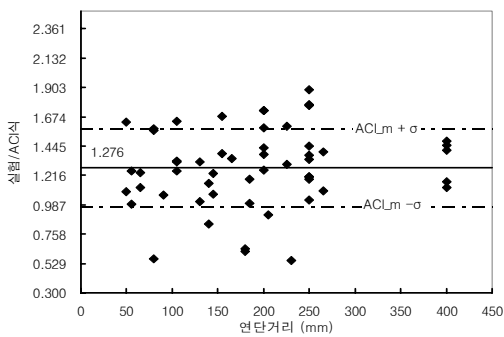


Fig. 7 연단거리에 따른 ACI 349-90 기준과 실험값의 회기분석

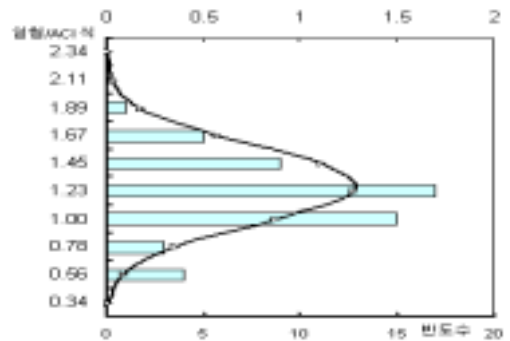


Fig. 8 연단거리에 따른 ACI 349-90 기준과 실험값의 정규분포곡선

Table 4 Wedge Anchor의 연단거리에 따른 콘파괴 강도

실험체명	연단거리 (mm)	ACI연단거리 감소계수	ACI349-90 (tf)	CCD연단거리 감소계수	CCD (tf)	실험값 (tf)	파괴모드	실험값 /ACI	실험값 /CCD
ST20-AC2H1	80	0.892	6.89	0.742	6.51	3.89	콘파괴	0.564	0.597
ST20-AC4H1	180	1.000	7.73	1.000	8.77	4.96	콘파괴	0.642	0.566
	180	1.000	7.73	1.000	8.77	4.80	콘파괴	0.621	0.547
ST20-AC5H1	230	1.000	7.73	1.000	8.77	4.25	콘파괴	0.550	0.485
ST16-AC2H1	65	0.924	3.84	0.771	4.19	4.31	콘파괴	1.123	1.028
	65	0.924	3.84	0.771	4.19	4.76	콘파괴	1.240	1.135
ST16-AC3H1	105	1.000	4.15	0.938	5.10	5.49	콘파괴	1.322	1.077
	105	1.000	4.15	0.938	5.10	5.20	콘파괴	1.252	1.020
ST16-AC4H1	145	1.000	4.15	1.000	5.44	5.12	콘파괴	1.233	0.941
	145	1.000	4.15	1.000	5.44	4.43	콘파괴	1.067	0.814
ST16-AC5H1	185	1.000	4.15	1.000	5.44	4.16	콘파괴	1.002	0.765
	185	1.000	4.15	1.000	5.44	4.92	콘파괴	1.185	0.904
ST16-AC6H1	225	1.000	4.15	1.000	5.44	5.40	콘파괴	1.301	0.993
	225	1.000	4.15	1.000	5.44	6.65	콘파괴	1.602	1.222
ST16-AC1H1	250	1.000	4.15	1.000	5.44	4.25	콘파괴	1.024	0.781
	250	1.000	4.15	1.000	5.44	5.00	콘파괴	1.204	0.919
	250	1.000	4.15	1.000	5.44	4.92	콘파괴	1.185	0.904
	250	1.000	4.15	1.000	5.44	5.56	콘파괴	1.339	1.022
	250	1.000	4.15	1.000	5.44	5.00	콘파괴	1.204	0.919
ST12-AC2H1	55	0.918	2.85	0.762	3.39	3.56	콘파괴	1.250	1.049
	55	0.918	2.85	0.762	3.39	2.82	콘파괴	0.990	0.831
ST12-AC3H1	90	1.000	3.10	0.929	4.13	3.31	콘파괴	1.067	0.801
ST12-AC4H1	130	1.000	3.10	1.000	4.45	3.14	콘파괴	1.012	0.705
	130	1.000	3.10	1.000	4.45	4.11	콘파괴	1.325	0.923
ST12-AC5H1	165	1.000	3.10	1.000	4.45	4.18	콘파괴	1.347	0.939
ST12-AC1H1	200	1.000	3.10	1.000	4.45	3.91	콘파괴	1.260	0.878
	200	1.000	3.10	1.000	4.45	4.29	콘파괴	1.383	0.964
	200	1.000	3.10	1.000	4.45	4.45	콘파괴	1.434	0.999
	200	1.000	3.10	1.000	4.45	4.92	콘파괴	1.586	1.105

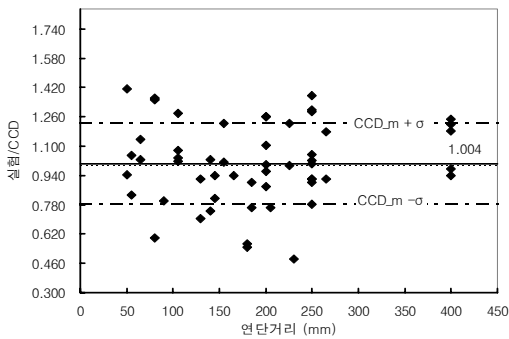


Fig. 9 연단거리에 따른 CCD 설계방법과 실험값의 회기분석

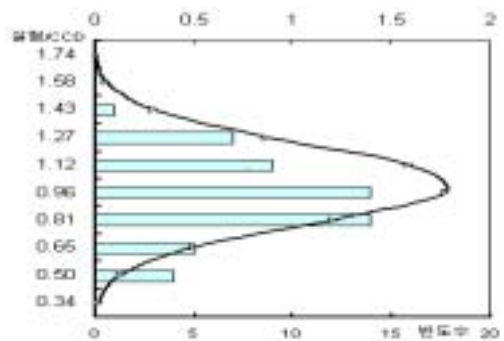


Fig. 10 연단거리에 따른 CCD 설계방법과 실험값의 정규분포곡선

콘파괴가 발생하지 않은 웨지앵커의 실험체를 살펴 보면, ST20-AC1H1, ST20-AC5H1, ST20-AC6H1 그리고 ST12-AC3H1, ST12-AC5H1의 실험체로 천공부인 삽입홀 내부에서의 과도한 미끌림 변형이 발생하여 전형적인 파괴형태인 뿔뿔파괴가 나타났다. 또한 실험결과에서 ST20-AC2H1, ST20-AC3H1의 실험체는 연단거리가 작아 앵커의 웨지부가 팽창력을 견디지 못해서 콘크리트 쪼갬파괴가 발생하였다.

ACI 349-90<sup>6)</sup> 설계기준과 CCD<sup>3)</sup> 설계방법을 적용하여 분석할 경우, ACI 349-90 설계기준은 이상화된 원추형 투영면적에 대한 연단거리 감소계수를 계산하여 식(2)로 계산하였고, CCD 설계방법은 연단거리에 따른 원추형 투영면적에 대한 연단거리 감소계수를 계산하여 식(4)를 적용하여 계산하였다.

연단거리에 따른 ACI 349-90 설계기준과 실험을 통해 콘파괴가 발생한 실험체의 실험값을 회기분석과 정규분포곡선으로 표현하면 Fig. 7, Fig. 8과 같다. Fig. 7은 실험체수가 54개이고, 표준편차 0.307이다. 회기분석과 정규분포곡선을 검토해본 결과, 실험값/ACI 기준식의 무차원평균은 1.276으로 ACI 349-90<sup>6)</sup> 기준보다 높은 값에 실험값이 많이 분포하고 있음을 알 수 있다.

연단거리에 따른 CCD 설계방법과 실험을 통해 콘파괴가 발생한 실험체의 실험값을 회기분석과 정규분포곡선으로 표현하면 Fig. 9, Fig. 10과 같다. Fig. 9는 실험체수가 54개이고, 표준편차 0.221이다. 회기분석과 정규분포곡선을 검토해본 결과, 실험값/CCD 기준식의 무차원평균은 1.004로 CCD 설계방법에 실험값이 많이 분포하고 있음을 볼 수 있다.



(a) HT16-AC5H1 콘파괴 면



(a) ST20-AC4H1 콘파괴 면



(b) HT12-AC2H1 콘파괴 깊이



(b) ST12-AC1H1 콘파괴 면

Photo 2 중랄물앵커의 콘파괴 성상

Photo 3 웨지앵커의 콘파괴 성상



따라서 CCD 설계방법에서 제시하는 기준식과 실험을 통한 실험값이 비교적 잘 일치함을 알 수 있었다. 실험에 사용된 앵커의 파괴형상은 Photo 2, Photo 3과 같다.

#### 4.2 기준식의 비교 · 검토

중량물 앵커와 웨지앵커의 연단거리에 따른 앵커별 콘파괴강도를 평가하기 위해 Fig. 11은 실험값을 무차원하여 ACI 349-90 기준과 비교하여 나타낸 것이고, Fig. 12는 실험값을 CCD 설계방법과 비교하여 무차원하여 나타낸 것이다.

Fig. 11에서 ACI 349-90기준은  $c_1/h_{ef}$ 비의 변화에 따라 편차는 있으나  $N_{u(test)}/N_{u(ACI\ 349-90\ predicted)}$ 비가 거의 일정하였다.

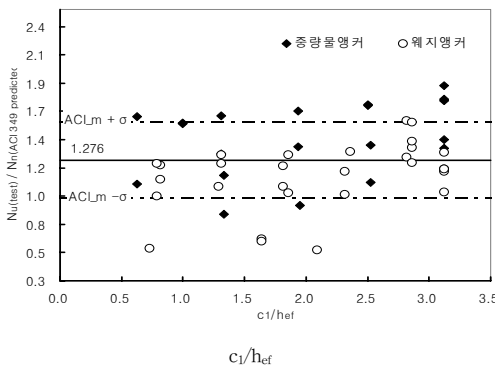


Fig. 11. 연단거리에 따른 ACI 349-90 기준과 앵커별 콘파괴강도 비교

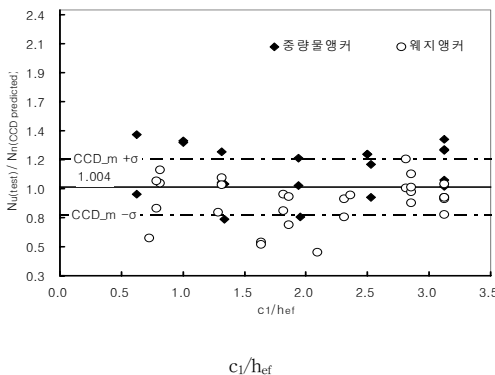


Fig. 12. 연단거리에 따른 CCD 설계방법과 앵커별 콘파괴강도 비교

그러나 Fig. 12에서 CCD설계방법은  $c_1/h_{ef}$ 비가 1.5 이하에서는  $N_{u(test)}/N_{u(ACI\ 349-90\ predicted)}$ 비가 상승하는 것으로 나타났다. 따라서 CCD 설계방법에서 연단효과를 고려하여 제시하고 있는  $\psi_2$ 는 연단거리가 감소함에 따라 콘크리트 콘파괴강도를 약간 과소평가하는 경향이 있음을 알 수 있었다. 앞으로 이에 대한 연구가 더 필요하다고 판단된다.

#### 5. 결론

본 실험을 통하여 익스팬션 앵커에 해당하는 국내산 중량물 앵커와 웨지 앵커를 사용하여, ACI 349-90 기준과 CCD 설계방법에 의해서 연단거리를 변수로 단일앵커 인발내력 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 국내산 앵커를 ACI 349-90 설계기준과 CCD 설계방법으로 분석한 결과, 실험값/예측값의 무차원 평균은 각각 1.276과 1.004로 나타났다. 이는 ACI 349-90의 원형면적 평가(45°)와 CCD방법의 사각형면적 평가(35°)에 의한 영향으로, 인발내력은 콘파괴의 면적과 각도에 의한 상당한 차이를 나타냈다.
- 2) CCD 설계방법에 의한 예측값이 실험값과 비교적 잘 일치함에 따라 연단거리에 따른 단일앵커의 인발내력 평가시 CCD 설계방법을 적용하여 보다 경제적인 구조설계가 가능할 것으로 판단된다. 추후 매입깊이와 콘크리트 강도 등을 변수로 하여 이에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

#### 참고문헌

1. 김영석 외3, “비균열 무근콘크리트의 단일앵커 인발내력 평가”, 대한건축학회 추계학술발표논문집(구조계), Vol. 22 No.2, 2002.10
2. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary(ACI 318-02),” American Concrete Institute. 2002.
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. ACI Committee 355(ACI 355.2-00), "Evaluating the Performance of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete," American Concrete Institute.
6. ACI Committee 349, "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures (ACI 349-90)," American Concrete Institute, Detroit, 1990.

(접수일자 : 2003년 11월 17일)