

콘크리트 CIP 앵커시스템의 파괴 거동에 관한 연구

Fracture behavior of Cast-in-place Headed Anchors to Concrete

박 성 균*

김 호 섭**

윤 영 수***

Park, Sung-Gyun

Kim, Ho-Seop

Yoon, Young-Soo

Abstract

This paper presents the evaluation of behavior and the prediction of tensile capacity of anchors that can cause a failure of the concrete on the basis of the design for anchorage.

Tests of cast-in-place headed anchors, domestically manufactured and installed in uncracked and unreinforced concrete member are conducted to test the effects of embedment length and edge distance.

The failure modes and the load-deformation responses of the anchors are discussed and then the concrete failure data are compared with capacities by the two present methods : the 45 degree cone method of ACI 349, 318 and the concrete capacity design (CCD) method.

Differences between the results by test and by two prediction methods are analyzed Finite Element Method (FEM)

keywords : concrete, anchor, cast-in-place, Finite Element Method, concrete capacity design

1. 서 론

기기 및 배관 등을 콘크리트 구조에 정착시키는 앵커시스템의 설계는 현재까지 강제 관입에 관한 ACI 349 코드를 근간으로 설계하여 왔다.⁽¹⁾ 그러나 ACI 349 코드에 의한 앵커시스템 설계에 따른 불안전측인

영향 때문에 현재는 독일 등 유럽에서 제시한 Concrete Capacity Design (CCD) 설계방법이 유럽의 CEB 기준과 앞으로 개정될 ACI 349 기준 및 ACI 318 기준에 포함될 예정이다.^{(4),(5),(7)}

본 연구에서는 이러한 실정에 부합하여 국내에서 생산되는 cast-in-place 볼트형 앵커를 사용하여 단일

* 정회원, 브이 에스 엘 코리아(주), 기술연구소 사원

** 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 대학원 석사과정

*** 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 부교수

● 본 논문에 대한 토의를 2001년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 2002년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

앵커, 다중앵커에 대한 관입깊이, edge 거리 등을 시험변수로 하는 인장시험을 통하여 실제 앵커시스템의 거동을 살피고, 유한요소해석 프로그램을 이용하여 해석한 후 실제 거동 및 ACI 349 기준과 CCD 설계방법에 의한 예측값과 실험값을 서로 비교 평가하여 콘크리트 앵커시스템의 구조적인 안정성 측면에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 콘크리트 앵커시스템 설계 기준

2.1 인장 하중에 대한 ACI 349 설계기준⁽¹⁾

ACI 349위원회의 관심사는 원전과 관련된 구조물에 대한 것이었다. 원전 안전에 대한 관심때문에 ACI 349는 주로 연성적으로 파괴가 일어나도록 설계를 유도하고 있으며 취성적인 콘크리트 파괴를 막기 위하여 원추형 모델이 소개되었다.⁽⁹⁾

인장 하중하에 ACI 349 설계기준은 45° 기울어진 원추형 파괴모양의 투영된 단면적 전체에 $\phi 4\sqrt{f'_c}$ 의 균일한 인장응력이 작용한다고 가정하였다. 또한 부재의 두께는 콘크리트 원추형 파괴강도의 지하를 막기 위하여 충분히 크다고 가정하였다.

$$N_n = f_{ct} A_N \quad (1)$$

여기서, N_n = 콘크리트 파괴 강도

$$f_{ct} = \phi 4\sqrt{f'_c}$$

ϕ = 강도 감소 계수 (=1)

A_N = 실제 부영 면적

모서리의 영향이나 원추형의 겹쳐짐이 없는 단일 앵커에 있어서 인장 강도는 원추형 응력의 실제 투영 면적에 인장 응력을 곱한 식 (2)에 나타나 있다.

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

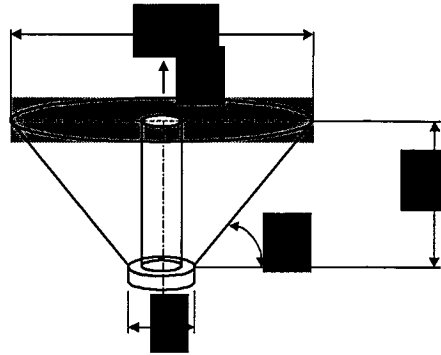


Fig. 1 Concrete Breakout Cone Model in ACI 349

여기서, N_{no} - 콘크리트 파괴 강도

d_u = 앵커 머리의 두께

또한 앵커시스템이 앵커항복으로 인해 파괴될 경우 앵커의 항복강도는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$T_s = \phi A_{se} f_y \quad \text{or} \quad \phi A_{se} (0.8 f_{ut}) \quad (3)$$

여기서, ϕ = 강도 저감계수

0.9 : CIP 앵커

0.81 : Post Installed 앵커

f_y = 강재의 항복강도

f_{ut} = 강재의 극한강도

A_{se} = 강재의 단면적

2.2 인장 하중에 대한 CCD 설계방법

인장 하중에 대한 CCD 방법은 식 (3)에서와 같이 콘크리트의 인장 응력, 파괴 면적, 그리고 콘크리트의 크기 효과를 고려하였다. 이 방법은 파괴면과 콘크리트면 사이가 35° 기울어져 파괴가 일어난다고 가정하고 있다.⁽²⁾

인장하중 작용시 모서리 영향을 받지 않고 주위 앵커의 피라미드 파괴 영향면과 겹치는 부분이 없는 단일 앵커의 경우 콘크리트 피라미드 파괴 강도 N_{no} 는

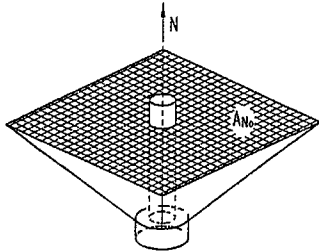
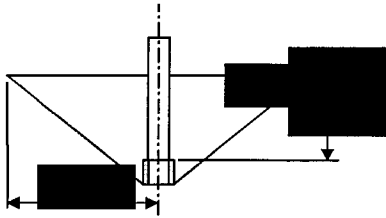


Fig. 2 Concrete Breakout Cone Model in CCD Methods

다음 식과 같다.⁽⁶⁾

$$N_{no} = k_1 \sqrt{f'_c} k_2 h_{ef}^2 k_3 h_{ef}^{-0.5} \quad (4)$$

여기서 k_1 , k_2 , k_3 은 통계적 개념에 의해 산출된 계수이다.

$k_1 \sqrt{f'_c}$ = concrete tensile capacity

$k_2 h_{ef}^2$ = activated load bearing area

$k_3 h_{ef}^{-0.5}$ = size effect

$k_{nc} = k_1 k_2 k_3$

$$N_{nc} = k_{nc} \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5} \quad (N) \quad (5)$$

$k_{nc} = 35$ (post installed anchors)

$= 40$ (cast-in-place anchors)

$\sqrt{f'_c}$ = 15×30 cm 원형 콘크리트

공시체의 압축강도의 제곱근

h_{ef} = 유효 정착 길이 (Fig. 3)

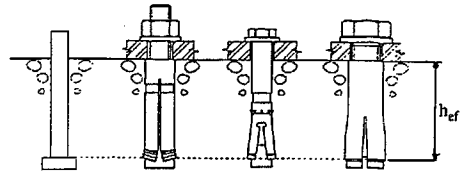


Fig. 3 Definition of Effective Length⁽⁶⁾

3. 실험

콘크리트 앵커시스템의 단일 앵커에 대하여 인장실험을 하기 위하여 특수 제작된 yoke를 사용하여 UTM(Universal Testing Machine)에 설치한 후 각각의 콘크리트 앵커 실험체에 대하여 인장 실험을 수행하였다.

3.1 실험체 제작

적육면체의 콘크리트 앵커 실험체를 거푸집을 이용하여 타설하였으며 콘크리트는 레미콘을 사용하였다. 콘크리트의 강도는 210 kgf/cm² 이며 각 실험체에 대한 명명법은 다음과 같다.

1 TC 6 01
① ② ③ ④

Fig. 4 Specimen Designation

위 Fig. 4에서 ①은 시험체 그룹을 나타낸다. 즉 1=관입깊이 5cm, 2=관입깊이 10cm, 3=edge 거리, 4=그룹앵커를 가가 변수로 하는 시험체 그룹이다. ②의 TC 명명은 모든 시험체에 동일하게 사용되었는데 T는 인장하중 조건을 C는 앵커의 종류인 Cast-In-Place 앵커를 의미한다. ③은 앵커의 직경으로 6=16cm, 2=12cm 직경의 앵커이다. ④는 시험한 순서이다. 이러한 명명법을 표로 나타내면 다음과 같다.

각 실험체의 두께는 파괴에 영향을 미치지 않도록 하기 위하여 관입깊이의 두 배 이상으로 제작되었다.⁽¹⁰⁾ 또한 실험체 가로 세로에 대하여 각 ACI 기준 및 CCD 방법에 대한 영향면보다 크도록 제작하였다.

Table 1 Test Group Designation

Group	test variation	anchor type	anchor diameter	embedment length
1	embedment length	CIP	16cm	5cm
2	embedment length	CIP	12cm	10cm
3	edge distance	CIP	16cm	5cm
4	group anchor	CIP	16cm	10cm

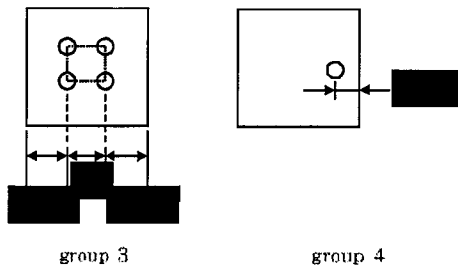


Fig. 5 Anchor Location

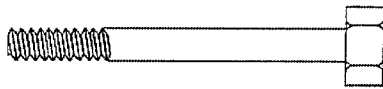


Fig. 6 CIP Headed Bolt Anchor

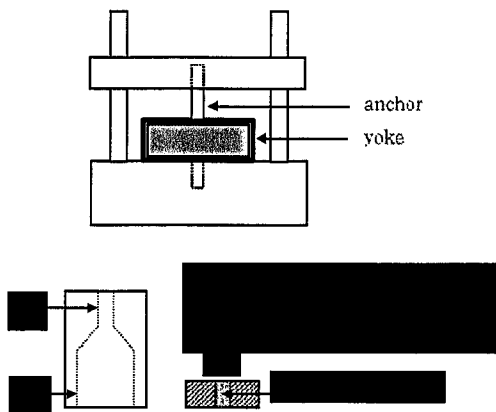


Fig. 7 Test Machine

콘크리트의 원추형 파괴를 유도하기 위하여 앵커의 인장력보다 콘크리트의 파괴강도가 작도록 설계하였고 사용한 앵커는 Fig. 6과 같으며 각각의 판입깊이는 Table 1에 나타나 있다.

3.2 실험장비 제작 및 실험방법

특수제작된 요크(yoke)는 UTM 내에서 앵커가 인발되어질 때 콘크리트 공시체가 움직이지 않도록 UTM 내에 고정되도록 설계되었고 각각의 공시체의 크기에 맞추어 조립이 가능하도록 하였다. Fig. 7은 UTM에 설치된 실험체를 나타낸 그림이다.

앵커의 길이가 한정되어 있기 때문에 UTM에 고정시킬 때 앵커의 길이를 연장하기 위하여 커플러를 제작하였다. 이 때 커플러는 앵커와 거동을 같이 하도록 견고하게 만들어졌으며 실험시 항복하지 않도록 고강도의 재료를 사용하였다.

실험그룹 4의 그룹앵커에 대하여 앵커 네 개를 고정시키는 판의 가운데는 인장력을 받는 봉을 끼워 실험하였다. 이 때 가운데 들어가는 봉의 두께로 인하여 판이 뜨는 것을 방지하기 위하여 앵커부위에 외서를 끼워 실험하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 실험결과 분석

실험그룹 1, 2, 3, 4에 대한 실험데이터를 Table 2에 나타내었으며 각 그룹별 하중 변위 곡선을 Fig. 8~Fig. 11에 나타내었다. 또한 Fig. 12과 Fig. 13은 각 그룹별 파괴 강도값과 각 그룹에 해당하는 $N(\text{test})/N(\text{predict})$ 의 평균값을 나타낸 그림이다.

Fig. 13에서 보듯이 실험그룹 1에 대해서는 ACI 349나 CCD 방법 모두 예측값이 안전측에 속하고 있으나 실험그룹 2에서는 ACI 349, CCD 방법 모두 강도값을 과대 평가하고 있는 것으로 나타난다. 실험그룹 3에 대해서는 ACI 349 값은 강도값을 너무 크게 예측하여 실험값과의 차이가 많이 나고 있으며 CCD의 경우 예측값과 실험값이 거의 일치하고 있음

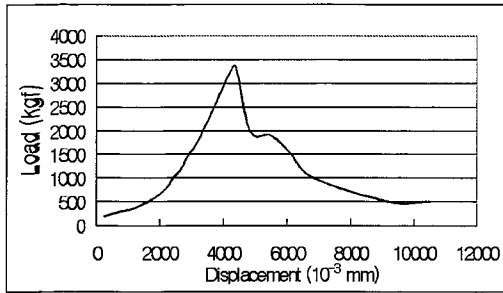


Fig. 8 Load-Displacement Response of Tested Group 1

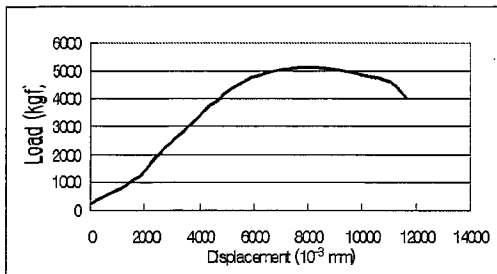


Fig. 9 Load-Displacement Response of Tested Group 2

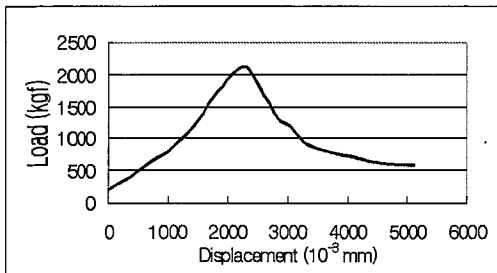


Fig. 10 Load-Displacement Response of Tested Group 3

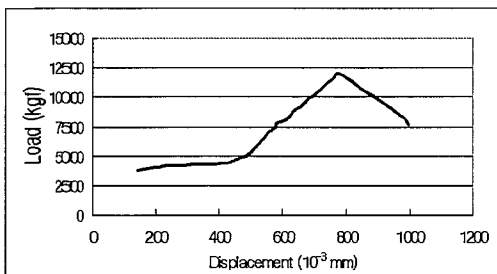


Fig. 11 Load-Displacement Response of Tested Group 4

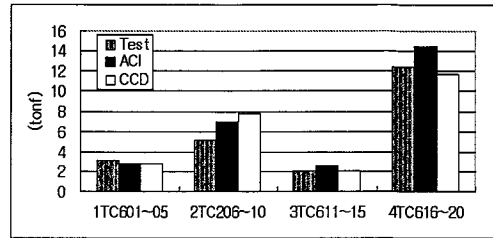


Fig. 12 Average Failure Load of Each Group

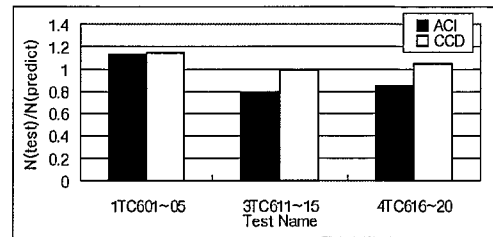


Fig. 13 Average $N_{(test)}/N_{(predict)}$ Ratio of Each Group

Table 2 Test Results

Test No	N (test)	N(ACI)	N(CCD)	Anchor Yield (tonf)	1/2*	1/3*
	1(tonf)	2(tonf)	3(tonf)			
1TC601	2.88	2.78	2.73	7.24	1.03	1.05
1TC602	3.68	2.78	2.73	7.24	1.32	1.34
1TC603	2.9	2.78	2.73	7.24	1.04	1.06
1TC604	3.35	2.78	2.73	7.24	1.20	1.22
1TC605	2.9	2.78	2.73	7.24	1.04	1.06
mean	3.142	2.78	2.73	7.24	1.13	1.15
2TC206	5.15	6.94	7.74	4.07	anchor failure	
2TC207	5.15	6.94	7.74	4.07		
2TC208	5.15	6.94	7.74	4.07		
2TC209	5.16	6.94	7.74	4.07		
2TC210	5.18	6.94	7.74	4.07		
mean	5.158	6.94	7.74	4.07		
3TC611	2.0	2.57	2.05	7.24	0.77	0.97
3TC612	1.84	2.57	2.05	7.24	0.71	0.89
3TC613	2.3	2.57	2.05	7.24	0.89	1.12
3TC614	2.12	2.57	2.05	7.24	0.82	1.03
3TC615	1.98	2.57	2.05	7.24	0.77	0.96
mean	2.04	2.57	2.05	7.24	0.79	0.99
4TC616	fail	14.51	11.77	28.96		
4TC617	12.2	14.51	11.77	28.96	0.84	10.3
4TC618	12.0	14.51	11.77	28.96	0.82	1.01
4TC619	12.6	14.51	11.77	28.96	0.86	1.07
4TC620	12.8	14.51	11.77	28.96	0.88	1.08
mean	12.4	14.51	11.77	28.96	0.85	1.05

* 1/2 = 1 column / 2 column

1/3 = 1 column / 3 column

을 나타내고 있다.

또한 앵커시스템의 파괴에 있어 취성파괴를 야기시키는 콘크리트 파괴에 초점을 맞추어 설계하였으므로 모든 시험체는 강재의 항복없이 취성재료인 콘크리트 파괴를 보였다.

세 그룹의 결과만 보더라도 CCD 방법의 경우 실험값과 예측값이 거의 일치하고 있어 CCD 방법이 보다 강도값을 추정하는데 유리하다고 판단된다.

사 실험그룹의 파괴양상을 살펴보면 실험그룹 1, 3, 4의 경우 콘크리트의 파괴가 일어났으며 실험그룹 2의 경우 강재의 파괴가 일어났다. 파괴된 양상을 살펴보면 기존 ACI 349나 CCD 방법의 파괴가정과 비슷한 파괴를 보이거나 원추형에 보다 가까운 파괴로 나타났다.

4.2 실험그룹 1 (관입깊이 5cm)

관입깊이 5cm에 대한 실험결과 대부분의 실험체에서 원추형 파괴가 일어났다. 즉 다음 그림과 같이 Wedge-Spalling 파괴가 일어나면서(Fig. 14(a)) 상부쪽으로 원추형 파괴가(Fig. 14(b)) 일어났다.

Fig. 15에서 보듯이 모든 데이터 값이 1보다 큰 값을 나타내고 있으며 ACI 349 나 CCD 예측값은 거의 비슷한 결과를 나타내고 있다. 그러나 CCD 방법의 경우 Table. 2에서 보듯이 ACI 349 예측식보다 약간의 안전측의 값을 나타내고 있다. Fig. 16은 파괴된 실험체의 모습으로 앵커를 중심으로 원추형의 파괴면을 나타내고 있다.

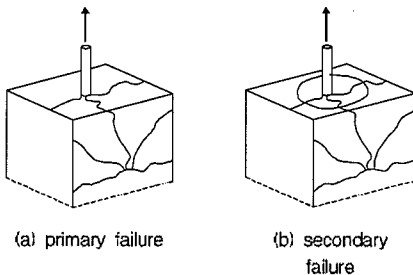


Fig. 14 Wedge-Spalling Failure

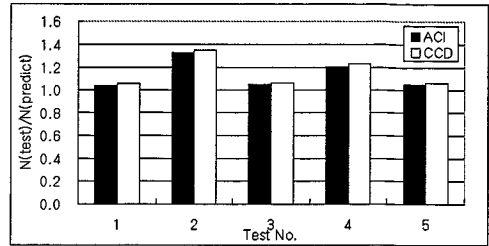


Fig. 15 $N_{test}/N_{predict}$ Ratio of Group 1

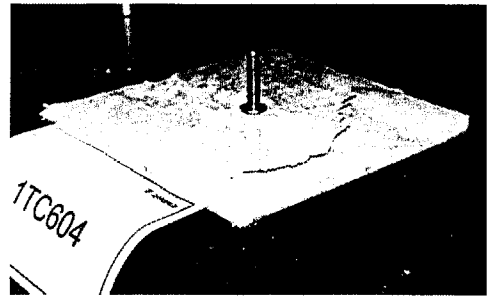


Fig. 16 Failure Shape Mode of Group 1

4.3 실험그룹 2 (관입깊이 10 cm)

관입깊이 10cm에 대한 실험 결과 모든 실험체의 파괴형태는 2TC208만을 제외한 나머지 실험체는 앵커 파괴가 일어났다. 2TC208의 경우도 원추형 파괴가 일어난 후 앵커 파괴가 동반되었다. ACI 349 및 CCD 방법의 예측값은 7~8 tonf의 값을 예측하고 있으나 실제 앵커가 파괴된 하중은 5.15~5.18 tonf에서 일어났다. 본래 원추형 파괴로 유도하였으나 콘크리트의 파괴 강도보다 앵커의 강도가 작기 때문에 앵커의 파괴가 일어났다. 앵커주변의 콘크리트 파괴시 응력집중으로 약간의 표면의 파괴가 동반되었다.

4.5 실험그룹 3 (edge 거리)

실험그룹 3은 한 변의 edge거리를 5cm, 관입깊이를 5cm로 하고 나머지 변의 edge 거리는 충분한 공시체이다. 실험 결과 edge 거리가 충분하지 않은 경우 ACI 349 및 CCD 방법 모두에 있어서 강도값을

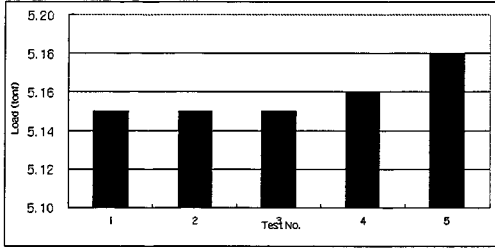


Fig. 17 Failure Load of Group 2

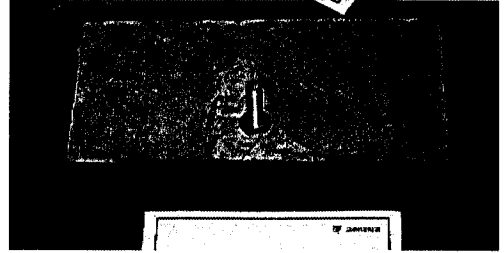


Fig. 20 Failure Shape Mode of Group 3

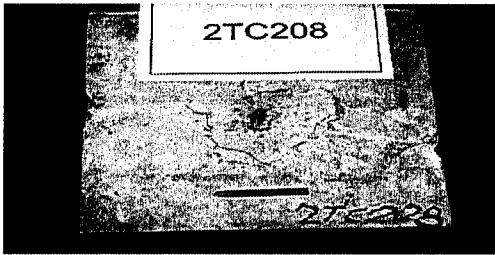


Fig. 18 Failure Shape Mode of Group 2

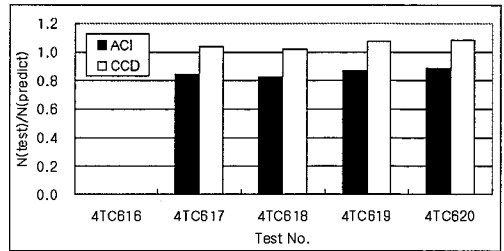


Fig. 21 N(test)/N(predict) Ratio of Group 4

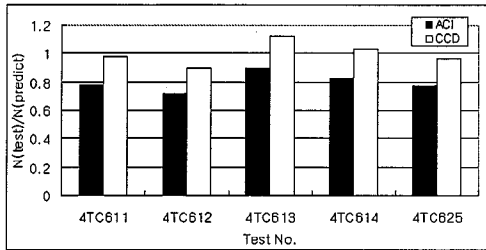


Fig. 19 $N_{(test)}/N_{(predicted)}$ Ratio of Group 3



Fig. 22 Failure Shape Mode of Group 4

파괴평가하며 ACI 349의 경우가 CCD 방법보다 강도값을 더욱 크게 예측하는 것으로 나타났다. 파괴형상은 한쪽면이 없는 반원추형 파괴가 일어났다.

4.5 실험그룹 4 (그룹앵커)

실험그룹 4는 그룹앵커에 대한 실험이다. 그룹앵커의 파괴강도 예측값은 ACI 349가 CCD 방법보다 3 tonf 정도 크게 예측하고 있어 CCD 파괴 강도값보다 파내 평가 하고 있다. 실제 실험 결과 파괴 강도값은 CCD 예측식의 강도값과 유사하며 ACI 349 예측값

이 파내 평가함을 알 수 있다. 4TC616의 경우 실험 도중 볼트의 파손으로 인하여 도중에 중단하였다.

5. 콘크리트 앵커시스템 유한요소해석

5.1 개 요

인장을 받는 콘크리트 앵커시스템의 파괴 거동 해석은 구조역학에서 중요한 문제로 되어왔다. 우선 앵커시스템이 구조물에 널리 쓰이고 있으며 파괴 거동을 분석하는데 많은 어려움이 있기 때문이다. 특히 앞서

설명된 관입깊이 20cm 이상의 앵커의 경우 ACI 349 기준은 불안전축인 것으로 나타났으며 이에 대한 연구가 많이 필요한 실정이다. 이에 따라서 유한요소해석을 통해서 단일앵커의 관입깊이에 따른 앵커시스템 해석을 통하여 파괴 강도 예측 하고자 한다.

5.2 축대칭 해석

콘크리트 앵커 시스템의 해석 모델은 크게 plane stresses 와 axi-symmetric으로 해석할 수 있다.⁽⁴⁾ 두 모델의 큰 차이점으로는 경계조건에 있어서 plane stresses 모델은 경계조건의 K (스프링 계수) 값을 영으로 놓는 반면 axi-symmetric 모델은 K 값을 무한대로 놓게 된다. axi-symmetric의 경우 외국의 해석 연구 결과에 대하여 Fig. 23에 나타나 있다.⁽³⁾

Fig. 23에서 n = 해석 연구 회수, F_n = 실제 실험 파괴 강도, s = 편차를 나타내며, (c), (d)의 값은 해석 결과 나타난 파괴강도값이다.

Fig. 23에서 보듯이 실제 실험결과와 해석결과에는 어느 정도의 차이를 나타내고 있으나 그 차이가 크게 벗어나지 않고 대부분 실제 거동보다는 보수적인 해석 결과를 나타내고 있다. 실질적으로 실제 파괴거동과 콘크리트 재료적 거동을 모사하는 것이 어렵기 때문에 그 오차는 있을 수 있으나 대부분이 만족스러운 결과를 나타내고 있다. 또한 해석 모델이 단순하며 원형의 볼트형 앵커를 사용한 경우 Axi-symmetric 모델을 사용하는 것이 적합한 것으로 판단되었다.

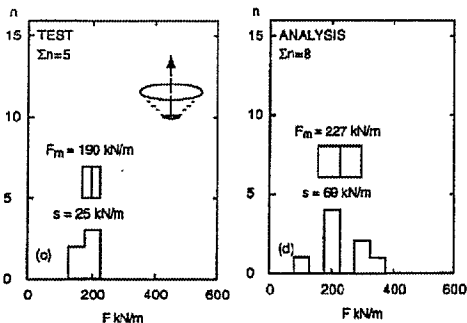


Fig. 23 Comparison with Experimental Results and Analysis Results

5.3 해석 모델

5.3.1 해석 모델의 재료특성과 형상

콘크리트 앵커시스템 파괴 거동을 살펴보기 위한 원형 실험체로 가정하여 해석을 수행하였다. 이는 축대칭 요소를 사용하기 위하여 가정된 것이며 앵커 상부면 전체에 하중이 작용하는 것으로 고려하였다. 다음과 같은 단일 앵커 단면에 대하여 Table 3, 4와 같은 제원을 입력하였다. 실측한 콘크리트의 압축강도로부터 인장강도값은 구했다. 콘크리트의 균열에 대하여 모사하기 위하여 범용프로그램인 LUSAS의 Cracking Concrete (Model 82)를 이용하였다.

실험체 단면에 대해서 모두 4가지 단면에 대하여 해석하였다. 콘크리트의 단면크기가 파괴에 영향이 없도록 실제 실험체 보다 크게 설정하였으며 각각에 대한 단면 치수는 Table 5와 같다. 단면의 경계조건은 Axi-symmetric 축에 대해서는 수직틀리기를 적용하였으며 나머지 면에 대해서는 린지를 적용하였다.

Table 3 Material Properties of Anchor

Young's Modulus (kgf/cm ²)	Poisson's Ratio
2040000	0.3

Table 4 Material properties of Concrete

Young's Modulus (kgf/cm ²)	217371
Poisson's Ratio	0.2
Tensile Strength (kgf/cm ²)	21
Strain at Ultimate Strength	0.003

Table 5 Section Properties

(unit : cm)					
No.	embedment length	b	h	d	d _b
1	5	40	20	2.6	1
2	10	40	40	2.6	1
3	15	60	60	2.6	1
4	20	80	80	5	1.5
5	25	80	100	5	1.5
6	30	100	120	5	1.5

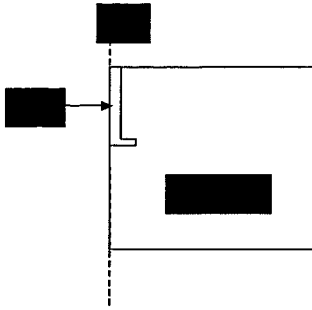


Fig. 24 Section Shape

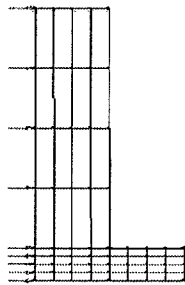


Fig. 25 Analysis Section of Anchor

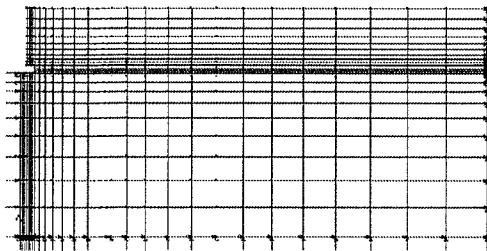


Fig. 26 Analysis Section of Concrete

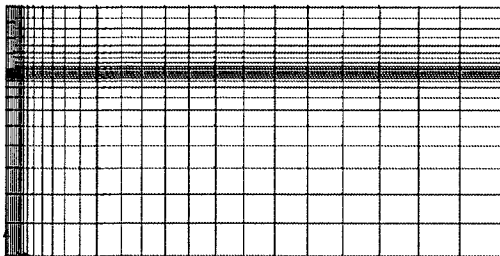


Fig. 27 Model of Concrete Anchor System (CIP anchor)

Fig. 24은 단면에 대한 개략적 그림을 나타내고 있다.

Fig. 24과 같은 단면에 대하여 Fig. 25~27과 같이 분할하였다. Fig. 25는 앵커에 대한 그림이며 Fig. 26는 콘크리트에 대한 해석 단면이다. Fig. 25의 앵커 상부에 하중을 적용시켰으며 또한 경계조건을 나타내었다. 앵커와 콘크리트 사이의 부착에 의한 파괴가 아니라 콘크리트의 인장응력에 의해 지배되는 파괴이므로 앵커와 콘크리트 사이의 부착메커니즘은 이 모델링에서 주요한 변수로 사용하지 않는다. 따라서 앵커의 머리부분이 실질적으로 인장하중을 받기 때문에 앵커의 머리부분(head)은 콘크리트와 완전 부착된 것으로 가정하였으며 앵커 기둥부분은 콘크리트와 미세한 거리만큼 떨어진 것으로 모델링 하였다.

실질적으로 Fig. 25와 Fig. 26는 하나의 단면으로 표시되며 각각의 분할을 보여주기 위해서 분리시켜 나타낸 그림이다. Fig. 27은 전체 분할을 나타내는 그림이다. 왼쪽 면을 기준으로 왼쪽상단에 앵커가 위치하며 나머지 부분은 콘크리트이다. 응력이 집중되는 앵커머리부분을 중심으로 분할의 간격을 점차적으로 넓혀 갔으며 일정한 감소비율로 분할간격을 나누었다.

5.3.2 모델의 하중 조건

앞과 같은 모델의 조건에 따라 각각 6개의 조건에 따라 파괴 예상 강도를 계산하고 그 강도보다 큰 하중을 적용시켜 각 하중에 대하여 예측 파괴강도값에 따른 범위를 정하여 그 범위 내에서 10 kgf 씩 증가시키면서 해석을 수행하였다. Fig. 25의 앵커의 상단면에 하중을 적용시켰으며 비선형하중해석을 수행하였다.

5.4 해석 결과 및 분석

5.4.1 해석 결과

수행한 해석을 통하여 각 단면에 대한 stress contour 및 principal stress vector와 균열분포에 대하여 나타내었으며 각각의 해석결과 앵커 상부 표면에서의 하중증가중점에 대한 하중값을 파괴강도값으로 결정하였다. 해석은 비선형 해석을 수행하였다.

Fig. 28~30는 관입깊이가 5cm 인 단면에 대하여 최대하중이 작용할 때의 Stress Contour, Principal

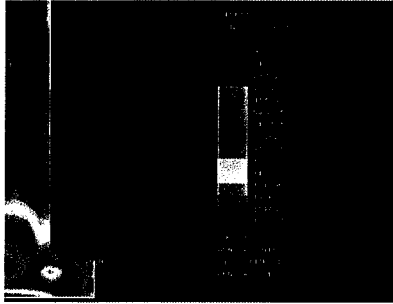


Fig. 28 Stress Contour

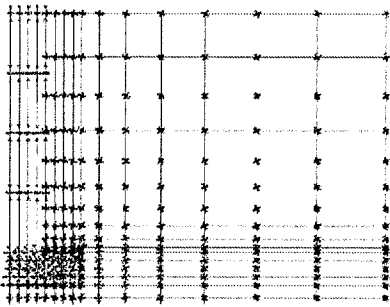


Fig. 29 Principal Stress Vector

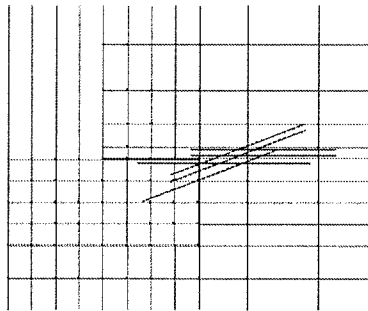


Fig. 30 Crack Distribution

Stress Vector 및 균열분포에 대한 그림을 나타내었다. 그림에서 보듯이 응력분포는 앵커에 걸리는 응력에 비하여 콘크리트에 발생하는 응력이 작은 것으로 나타났다. 콘크리트에 있어서 가장 큰 응력이 발생하는 곳은 앵커머리 모서리 부분과 접한 곳이며 이 점을 중심으로 콘크리트 표면으로 갈수록 응력의 감소가 나타나고 있다. 이 때 응력의 단위는 kgf/cm^2 이다.

주응력벡터는 앵커머리부분에 접하는 콘크리트의 수평 및 경사방향으로 인장응력이 발생하며 이는 콘크리트의 인장균열을 발생시키며 이 방향을 따라 균열이 나타나는 것으로 나타났다. 판입깊이가 깊어질수록 균열은 더욱 많이 발생하게 되며 또한 수평 및 경사방향으로 균열이 동시에 발생하는 것으로 나타났으며, 유사한 방법으로 판입깊이가 10, 15, 20, 25, 30cm 인 단면의 해석을 수행하고 결과를 분석하였다.

5.4.2 해석 결과 분석

앞서 해석한 단면에 대하여 Table 6과 같은 결과를 나타내었으며 각 판입깊이에 따른 ACI 349와 CCD 방법의 강도예측값은 앞서 기술한 계산식에 의해 계산한 것이다. Table 6과 Fig. 31에서 보듯이 해석결과는 ACI 349 및 CCD 방법의 예측값과 거의 유사한 값을 나타내고 있으며 판입깊이 20cm 이상의 판입깊이를 가지는 경우 ACI 349의 예측값이 CCD 방법에 의한 예측값에 비하여 기울기가 급속히 커지고 있으며 이는 ACI 349의 불안전축임을 나타내고 있다. 해석

Table 6 Analysis Results

(unit : tonf)

No.	ACI 349	CCD Method	Analysis Results
1	3.09	2.74	3.15
2	8.16	7.75	8.13
3	15.65	14.23	15.27
4	25.55	21.92	21.39
5	37.87	30.63	34.10
6	52.60	40.27	45.78

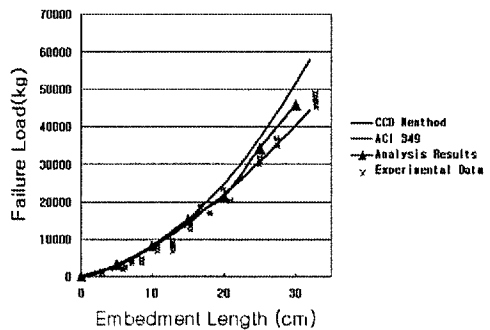


Fig. 31 Comparison with Results

결과 판입깊이 20cm까지는 ACI 349 및 CCD 방법과 거의 유사한 양상으로 나타나나 20cm 이상의 경우 두 예측값의 중간값에 수렴되고 있다. 이를 바탕으로 현재 ACI 349 콘크리트 앵커시스템 설계기준은 실제실험값 및 해석결과와 비교해서 불안전측인 것으로 나타나고 있으며 이는 Fig. 31에서 보는 것과 같다.

또한 Fig. 30에서 보는 것과 같이 판입깊이 20cm까지는 기존실험자료와 예측값 및 해석결과와 비슷한 양상으로 나타나나 20cm 이상에서는 설계기준의 보안 또는 수정이 필요하다.

6. 결 론

본 연구는 콘크리트 앵커시스템의 설계방법 적합성 평가에 관한 것으로서 단일 및 다중 CIP 앵커에 대하여 4가지 실험변수에 대하여 인장실험을 수행하였으며 이와 더불어 유한요소해석을 수행하였다.

실험결과와 해석결과는 앞서 설명한 ACI 349 기준과 CCD 방법과 서로 비교 평가하였으며 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) CIP(Cast-in-place) 앵커에 있어서 5cm 판입 깊이를 갖는 경우 ACI 349 및 CCD 방법 모두 안전측의 예측값을 나타내었다. 이는 실험결과 뿐만 아니라 ACI 349 및 CCD 방법의 예측값 모두가 실제 강도값을 안전측 이내에 예측하고 있다.
- 2) CIP 앵커에 있어서 한 번의 edge거리가 5cm인 실험체는 ACI 349 및 CCD 방법 모두 예측값이 실험값보다 불안전측인 것으로 나타났으며 설계 방법에 있어서 ACI 349 및 CCD 방법의 강도에 대한 예측값 산정 시 단순한 면적비에 대한 예측값 산정뿐만 아니라 ACI 349의 경우 현행 강도저감계수보다 더욱 작은 계수값을 곱해야 하며 CCD방법의 경우도 강도저감계수값을 낮추어야 하는 것으로 보인다.
- 3) 그룹앵커의 경우 ACI 349의 예측값은 과대평가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 CCD 방법의 경우 예측값과 실험값이 일치됨을 알 수 있었다. 이는 다중앵커의 경우 CCD 방법의 크기효과를

고려했기 때문에 ACI 349의 예측값보다 작은 값을 나타낸 것이다.

- 4) 유한요소해석결과 5cm 판입깊이의 경우 실제실험데이터와 비슷한 결과를 나타냈으며 판입깊이 20cm 이상의 경우 기존 연구결과와 비교해 볼 때 불안전측인 결과를 나타내고 있다. 그러나 ACI 349 기준식과 CCD 방법과 비교할 때 유사한 결과를 나타내고 있으며 강도저감계수를 적용했을 경우 안전측의 예측을 할 수 있을 뿐만 아니라 실험 실험을 수행하지 않아도 파괴양상을 모사할 수 있는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Werner Fuchs, Rolf Eligehausen, and John F. Breen Concrete Capacity Design(CCD) Approach for Fastening to Concrete ACI Structural Journal, Vol.92, No. 1, Jan.-Feb. 1995.
2. Rolf Eligehausen and Tamas Balogh Behavior of Fasteners Loaded in Tension in Cracked Reinforced Concrete ACI Structural Journal, Vol. 92, No. 3, May-June 1995.
3. R. A. Cook, G. T. Doerr, and R. E. Klingner Bond Stress Model for Design of Adhesive Anchors ACI Structural Journal, Sep-Oct 1993.
4. Muzz Yener Overview and Progressive Finite Element Analysis of Pullout Tests ACI Structural Journal, Jan-Feb 1994.
5. Ronald A. Cook, Jacob Kunz, Werner Fuchs, and Robert C. Konz Behavior and Design of Single Adhesive Anchors under Tensile Load in Uncracked Concrete ACI Structural Journal, Jan-Feb 1998.
6. Jenifer Marie Hallowell, B.S. Tensile and Shear Behavior of Anchors in Uncracked and Cracked Concrete under Static and Dynamic Loading Thesis. University of Texas at Austin, 1996.
7. R. Eligehausen Behavior, Design and Testing of Anchor in Cracked Concrete ACI Committee 355, Anchorage to Concrete.
8. R. Eligehausen, Pert Bouska, Vladimir Cervenka, Radomir Pukl. Size Effect of the Concrete Cone Failure Load of Anchor Bolts
9. R. Eligehausen, W. Fuchs, B. Mayer Loadbearing

Behavior of Anchor Fastenings in Tension.
Betonwerk, Fertigteil-Technik. Dec., 1987.

10. ASTM, Standard Specification for Performance of
Anchors in Cracked and Non-cracked Concrete
Element. Draft 1, Mar. 22, 1993.

11. ACI Committee 349-90. Code Requirement for
Nuclear Safety Related Concrete Structures.
American Concrete Institute.

(접수일자 : 2001년 2월 23일)