

앵커볼트의 내력평가에 관한 실험적 연구

Strength of Anchors under Load Applied Angles

김성용* / 한덕전** / 신창훈***

Kim, Sung Yong / Han, Duck Jeon / Shin, Chang Hoon

Abstract

The pull-out capacity of expansion anchor (heavy duty anchor and wedge anchor) was studied experimentally in this paper. Loading conditions included tension, shear, and combined tension and shear. The heavy duty anchor and wedge anchor were manufactured in domestic and installed in plain concrete. The failure mode of steel and concrete were studied carefully for the analytical formula of the anchorage design and the experimental data were compared with different models for the interaction of tension and shear capacities. Based on the research, the following conclusion may be drawn : The interaction of forces is well-described by an elliptical interaction relationship.

key words : heavy duty anchor, wedge anchor, load applied angles, tension, shear

요 지

본 연구는 익스팬션(고하중 앵커와 웨지앵커)의 내력평가 하기 위한 실험적 연구이다. 하중조건은 인발, 전단 및 인발과 전단의 조합하중이다. 고하중 앵커와 웨지 앵커는 국내산 앵커를 사용하였으며, 무근콘크리트에 매입하였다. 앵커 파괴 및 콘크리트 파괴모드에 따른 기존의 앵커 설계식을 연구하였으며, 실험결과를 인발 및 전단내력의 상호작용에 관한 여러 모델들과 비교분석하였다. 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 조합하중 작용 시 힘의 상호작용은 타원형 상호관계가 가장 적합한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 고하중 앵커, 웨지 앵커, 하중각도, 인발, 전단

1. 서 론

최근에 건축물의 보수·보강 및 리모델링건설이 점점 증가하고 있으며, 보수·보강 및 리모델링 건설현장에서 구조물을 정착 및 부착하기 위하여 익스팬션 앵커의 사용량이 점점 증가하고 있다. 그러나 우리나라에서는 국내산 앵커에 대해 설계자와 시공자가 신뢰할 수 있는 명확한 구조설계기준이나 혹은 정착성능기준이 없는 상태이다. 또한 콘크리트 구조물에 매입된 익스팬션 앵커는 구조부재나 부착물에 의하여 인발, 전단 및 조합하중을 받는다. 이러한 하중을 받는 익스팬션 앵커의 파괴모드는 크게 앵커파괴와 콘크리트 파괴로 나눌 수 있다. 따라서 본 연구에서는 비균열·무근콘크

리트에 매입된 국내산 익스팬션 앵커인 고하중 앵커 (heavy duty anchor)와 웨지 앵커(wedge anchor)를 대상으로 조합하중을 받는 앵커의 내력을 평가하기 위하여, 인발실험, 전단실험 및 조합하중실험을 실시하여 하중각도에 따른 앵커의 내력을 규명하고 콘크리트에 묻히는 앵커시스템의 품질확보를 위해 필요한 국내산 앵커의 구조설계자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

2. 기존 앵커 설계식

2.1 인발내력 설계식

2.1.1 앵커파괴강도(Steel failure in tension)

ACI 318-02¹⁾ 및 EOTA 기준²⁾에서는 앵커파괴 시

* 정회원 · ES구조 엔지니어링, 공학박사 (e-mail : highbolt@dreamwiz.com)

** 서일대 건축과 교수 · 공학박사

*** 서일대 건축과 교수 · 공학박사

공칭강도를 식(1)과 같이 앵커의 유효단면적과 인장강도의 곱으로 제안하고 있다.

$$N_s = nA_{se}f_{ut} \quad (N) \quad (1)$$

여기서, A_{se} = 앵커볼트의 유효단면적.

f_{ut} = 앵커볼트의 인장강도.

n = 앵커볼트의 개수

2.1.2 콘크리트 콘 파괴강도(Concrete cone breakout)

1) Concrete Capacity Design(CCD) Method³⁾

인발하중 작용 시 연단거리의 영향을 받지 않고, 주위앵커의 피라미드 파괴 콘과 겹치는 부분이 없는 단일앵커의 경우, 비균열 콘크리트에 매입된 앵커의 콘크리트 콘 파괴 시 공칭강도는 식(2)와 같다.

$$N_{no} = k_{nc}\sqrt{f'_c}h_{ef}^{1.5} \quad (N) \quad (2)$$

여기서, $k_{nc} = 15.5$ (post-installed anchors)

$k_{nc} = 17.5$ (cast-in place anchors)

f'_c = 콘크리트 압축강도

h_{ef} = 유효삽입깊이.

2) ACI 318-02 Appendix D¹⁾

균열콘크리트에 대한 단일앵커의 콘크리트 콘 파괴강도는 CCD 방법을 기초로 5% 파괴확률을 적용하여 식 (3)과 같이 제시하고 있다.

$$N_b = k\sqrt{f'_c}h_{ef}^{1.5} \quad (lb) \quad (3)$$

여기서, $k = 17$ (post-installed anchors)

$k = 24$ (cast-in place anchors)

2.2 전단내력 설계식

2.2.1 앵커파괴강도(Steel failure in shear)

앵커파괴 강도는 앵커의 인장강도와 유효단면적에 인발 및 전단내력의 비를 곱함으로써 구할 수 있다. 인발 및 전단내력 비는 앵커의 타입에 따라 변한다. Cook(1989)은 슬리브가 있는 앵커의 감소계수를 0.6으로 제안하였다. 감소계수 0.6은 von Mises Model에 의한 이론적인 비 $1/\sqrt{3}$ 에 근접한다. 또한 슬리브가 없는 앵커의 감소계수는 0.5로 제안하였다.

1) ACI 318-02 Appendix D¹⁾

ACI 318-02 기준에서 후시공 앵커(Post-installed anchors)에 대한 앵커파괴강도는 식(4)과 같다.

$$V_s = n(0.6A_{se}f_{ut} + 0.4A_{sl}f_{ust}) \quad (lb) \quad (4)$$

여기서, A_{sl} : 슬리브의 유효단면적

f_{ust} : 슬리브의 인장강도

n : 앵커의 개수.

2) EOTA Annex C²⁾

$$V_s = 0.5A_{se}f_{ut} \quad (N) \quad (5)$$

2.2.2 콘크리트 단부파괴강도(Concrete breakout strength)

1) Concrete Capacity Design(CCD) method³⁾

Fuchs(1995)는 headed, adhesive 및 expansion anchor 등의 실험값을 회귀 분석하여, 콘크리트 단부 파괴의 공칭전단강도를 (6)식과 같이 제시하였다.

$$V_{no} = \left(\frac{l}{d_o}\right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f'_c} (c_1)^{1.5} \quad (N) \quad (6)$$

여기서, l : 앵커의 하중 지압길이

d_o : 앵커의 외경

c_1 : 하중방향에 대한 연단거리

2) ACI 318-02 Appendix D¹⁾

균열콘크리트에 대한 단일앵커의 콘크리트 단부파괴강도는 CCD 방법을 기초로 5% 파괴확률을 적용하여, 식 (7)와 같이 제시하고 있다.

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

3) EOTA Annex C²⁾

균열콘크리트에 대한 단일앵커의 콘크리트 단부파괴강도는 식(8)과 같다.

$$V_b = 0.45\left(\frac{l}{d_o}\right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f'_{cc}} (c_1)^{1.5} \quad (N) \quad (8)$$

여기서 f'_{cc} : 직육면체 공시체에 의한 콘크리트 압축강도, MPa.

2.2.3 콘크리트 부서짐강도(Concrete pryout strength)

ACI 318-02 Appendix D¹⁾ 및 EOTA Annex C²⁾에서 콘크리트 부서짐강도는 파괴역학에 기초한 식은 제안되고 있지 않으나, 유효삽입깊이(h_{ef})에 따라 식(9)와 같이 제시하고 있다.

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cb} \quad (lb) \quad (9)$$

여기서, k_{cp} : 부서짐강도 계수

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

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

N_{cb} : 콘크리트 콘 파괴강도

2.3 조합하중 설계식

인발 및 전단하중이 동시에 작용하는 조합하중 하에서 앵커의 파괴는 앵커 파괴와 콘크리트 파괴로 구분할 수 있다. 파괴모드에 따라 앵커의 내력을 산정하기 위하여 다음과 같은 3가지 모델이 제안되었다.

1) 직선 방정식(Linear interaction)

콘크리트 파괴에 대해서 Johnson과 Lew (1990)는 식 (10)과 같은 직선의 방정식을 제안하였다.⁴⁾

$$\frac{T_a}{T_u} + \frac{V_a}{V_u} = 1 \quad (10)$$

여기서, T_a , V_a = 작용 인장하중 및 전단하중

T_u , V_u = 앵커의 인장 및 전단내력

2) 3개의 직선 함수식(Tri-linear interaction)

Bode와 Roik(1987)은 스테드에 대하여 식 (11)과 같은 3개의 직선 함수식을 제안하였다.⁵⁾ 또한Meinheit와 Heidbrink에 의하면 식(11)은 익스팬션 앵커에 대해서도 적용될 수 있다.

$$\frac{T_a}{T_u} = 1 \quad (11a)$$

$$\frac{V_a}{V_u} = 1 \quad (11b)$$

$$\frac{T_a}{T_u} + \frac{V_a}{V_u} = 1.2 \quad (11c)$$

3) 타원형 함수식(Elliptical interaction)

많은 학자들은 전단과 인장에 의한 조합하중은 타원형의 함수로 해석할 수 있다고 결론을 지었다. 그리고 앵커의 파괴에 대해서 McMackin, Slutter와 Fishere (1973)는 타원함수의 지수를 5/3으로 제안하였으며,⁶⁾ Shaikh와 Whayong (1985)는 타원형 함수의 지수를 2.0으로 제안하였다.⁷⁾ 또한 콘크리트 파괴에 대해서는 타원형 함수의 지수를 4/3(PCI 1985), 5/3(Cook, Klingner 1992)⁸⁾ 및 2.0(Shaikh, Whayong 1985)⁷⁾으로 제안하였다. 또한 Teledyne Engineering Services 보고서는 익스팬션 앵커에 대해서 타원형 함수의 지수 적절한 값을 5/3으로 규정하고 있다.

$$\left(\frac{T_a}{T_u}\right)^p + \left(\frac{V_a}{V_u}\right)^p = 1 \quad (12)$$

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

조합하중 하에 파괴모드는 앵커파괴와 콘크리트 파괴로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 앵커의 강도가 작은 웨지 앵커를 이용하여 앵커파괴를 유도하였으며, 앵커의 강성 및 강도가 큰 고하중 앵커를 이용하여 콘크리트 파괴를 유도하였다. 또한 전단하중 작용 시 연단 거리에 따라 콘크리트 단부파괴가 발생할 수 있으므로 콘크리트 단부파괴를 방지하기 위하여 표 3과 같이 연단거리를 충분히 확보하였다.

조합하중 하에 앵커파괴 및 콘크리트 파괴에 따른 앵커의 내력을 평가하고자 표 3과 같이 인발 및 전단 실험과 조합하중 실험(하중각도 30°, 45°, 60°)을 계획하였다. 콘크리트 강도는 일반적으로 많이 사용되는 설계기준강도 21MPa로 계획하였다. 인발 및 전단 실험은 앵커직경별로 각각 5개, 조합하중실험은 앵커직경별로 각각 3개를 계획하였다.

실험체 명명법은 다음과 같다.

HT16-AC1A1

여기서, H(S) : 중량물앵커(웨지앵커)

T(C, S) : 인발실험(조합하중, 전단실험)

16 : 앵커직경

A1(A2, A3) : 하중각도 30°(45°, 60°)

3.2 가력 및 측정방법

앵커의 인발실험 및 전단실험은 E488-96에 의하여 수행하였으며, 복합하중 실험은 인발 및 전단실험과 같이 E488-96에 준하여 실시하였다.⁹⁾ 사진1은 조합하중

실험의 실험체 설치전경 사진이다.

본 연구에서는 ASTM E488-96에서 제시하고 있는 클리어런스 및 콘크리트 모재의 두께($1.5 h_{ef}$)를 확보하기 위하여, 비균열·무근콘크리트의 단면을 앵커의 삽입깊이에 따라서 1.6×1.6×0.3m, 1.5×1.5× 0.3m 그리고 1.8×1.8×0.3m 크기로 콘크리트 모재를 제작하였다. 콘크리트 모재는 목재거푸집을 제작하여 레미콘을 사용하여 콘크리트 타설 하였다.

앵커의 가력방법은 Load Cell(사용범위 500kN 용량)을 설치 후 하중은 Hydraulic Actuator(사용범위 600kN 용량)를 이용하여 하중제어방법으로 증가시키며 주기적으로 재하 하도록 계획하였다. 앵커 변위를 측정하기 위하여 200mm LVDT를 설치하였으며, 데이터로거를 이용하여 하중 및 변위를 초당 한번씩 측정하였다.

앵커를 삽입깊이에 따라 삽입 시에 볼트 또는 너트는 토크관리법에 의해서 볼트를 볼크구멍에 삽입하여 스페너 등으로 1차조임 후, 토크 렌치를 사용하여 앵커의 토크값에 따라 체결하였다.

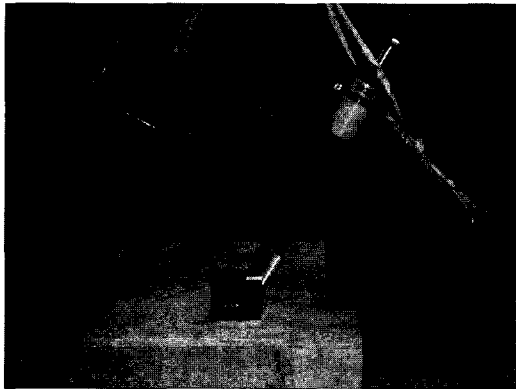


그림 1. 조합하중 실험체 설치전경

4. 실험결과 및 분석

4.1 재료의 특성

앵커는 인발실험용 앵커와 동일한 로트(lot)의 시험 성적서에 제시된 값을 사용하였다. 앵커설계 시 앵커의

항복강도는 명확하지 않으므로 설계식에서 인장강도만 사용하고 있다. 본 연구에서도 앵커의 인장강도만 표기하였으며, 앵커의 인장강도는 표 1과 같다.

본 실험에서 사용된 콘크리트의 배합 및 소재특성은 표 2와 같다. 콘크리트 압축강도 시험은 KS F 2403에 따라 제작한 9개의 공시체를 실험체와 동일한 조건에서 28일 양생시킨 후, 콘크리트 압축강도 시험을 실시하였다.

4.2 앵커의 실험결과

표 3은 중량물 앵커와 웨지 앵커의 하중각도에 따른 실험값과 파괴모드를 나타낸 것이다. 표 3에서 실험값은 평균값을 나타낸 것이다.¹⁰⁾

4.2.1 하중각도에 따른 파괴모드

연단거리가 충분히 확보된 경우, 앵커의 강성이 큰 고하중 앵커는 전단하중 작용 시 부서짐 파괴가 주로 발생하였으며, 인발하중 작용 시 콘크리트 콘 파괴가 발생하였다. 하중각도가 30°~45°에서는 사진 2와 같이 앵커의 지압에 의하여 하중방향으로 콘크리트 지압파괴를 동반한 콘크리트 부서짐파괴가 발생하였으나, 사진 3과 같이 하중각도가 60°인 HC12-AC1A3 실험체는 콘크리트 부서짐파괴 및 콘크리트 콘 파괴가 복합적으로 일어났다. 또한 앵커의 강도가 작은 웨지앵커는 전단하중 작용 시 앵커파괴가 주로 일어났으며, 인발하중 작용 시 콘크리트 콘 파괴가 일어났다. 그러나 하중각도에 따라서는 고하중 앵커와 동일하게 앵커파괴에서 앵커의 변형과 콘크리트 콘파괴가 복합적으로 일어났다(사진 4, 5참조). 따라서 파괴모드는 하중각도가 30°~45°에서 전단파괴 형상이 지배적으로 나타났으며, 하중각도가 60°에서는 인발과 전단파괴가 복합적인 형상으로 나타났다.

4.2.2 조합하중에 따른 내력비교

조합하중 하에 앵커의 내력을 산정하기 위해서 현재 3가지 모델이 제시되어 있다. 앵커 내력산정 모델의

표 1. 앵커의 소재특성

앵커의 종류	인장강도(MPa)
고하중 앵커	1080.7
웨지 앵커	443.3

표 2. 콘크리트의 배합 및 소재특성

설계강도 (MPa)	슬럼프 (cm)	물 시멘트비(%)	공기량 (%)	굵은골재최대치수 (mm)	평균 압축강도 (MPa)
21	8	55.9	4.5	25	21.90

표 3. 하중각도에 따른 조합하중 실험결과

실험체명	연단거리 (mm)	하중각도 (°)	토크값 (N·m)	실험값 (kN)	실험값과 조합하중 설계식 비교			파괴성상
					실험값/식(10)	실험값/식(11)	실험값/식(12)	
HS20-AC1	400	0	200	211.65	0.987	0.987	0.987	부서짐파괴
HC20-AC1A1	400	30	200	174.31	1.469	1.224	1.140	부서짐파괴
HC20-AC1A2	400	45	200	143.96	1.502	1.251	1.138	부서짐파괴
HC20-AC1A3	400	60	200	126.90	1.457	1.215	1.131	부서짐파괴+콘파괴
HT20-AC1	400	90	200	118.78	1.108	1.108	1.108	콘파괴
HS16-AC1	400	0	120	167.56	1.077	1.077	1.077	부서짐파괴
HC16-AC1A1	400	30	120	127.78	1.485	1.237	1.152	부서짐파괴
HC16-AC1A2	400	45	120	114.49	1.646	1.372	1.247	부서짐파괴
HC16-AC1A3	400	60	120	91.59	1.450	1.209	1.125	부서짐파괴+콘파괴
HT20-AC1	400	90	120	92.01	1.183	1.183	1.183	콘파괴
HS12-AC1	250	0	80	101.73	0.982	0.982	0.982	부서짐파괴
HC12-AC1A1	250	30	80	85.27	1.488	1.240	1.154	부서짐파괴
HC12-AC1A2	250	45	80	73.40	1.585	1.321	1.201	부서짐파괴
HC12-AC1A3	250	60	80	62.27	1.481	1.234	1.149	부서짐파괴+콘파괴
HT12-AC1	250	90	80	61.18	1.182	1.182	1.182	콘파괴
SS20-AC1	400	0	200	87.33	1.341	1.341	1.341	앵커파괴
SC20-AC1A1	400	30	200	76.79	1.530	1.275	1.187	앵커파괴
SC20-AC1A2	400	45	200	73.15	1.424	1.186	1.079	앵커파괴
SC20-AC1A3	400	60	200	72.77	1.283	1.069	0.996	앵커변형+콘파괴
ST20-AC1	400	90	200	85.79	1.028	1.028	1.028	콘파괴
SS16-AC1	250	0	100	53.05	1.270	1.270	1.270	앵커파괴
SC16-AC1A1	250	30	100	45.90	1.434	1.195	1.112	앵커파괴
SC16-AC1A2	250	45	100	53.20	1.636	1.364	1.240	앵커변형+콘파괴
SC16-AC1A3	250	60	100	39.13	1.099	0.916	0.853	앵커변형+콘파괴
ST16-AC1	250	90	100	47.09	0.909	0.909	0.909	콘파괴
SS12-AC1	200	0	50	28.72	1.279	1.279	1.279	앵커파괴
SC12-AC1A1	200	30	50	27.80	1.531	1.276	1.188	앵커파괴
SC12-AC1A2	200	45	50	37.17	1.872	1.560	1.419	앵커파괴
SC12-AC1A3	200	60	50	29.67	1.223	1.020	0.949	앵커변형+콘파괴
ST12-AC1	200	90	50	38.62	0.909	0.909	0.909	콘파괴



그림 2. HC12-AC1A1 실험체의 부서짐파괴

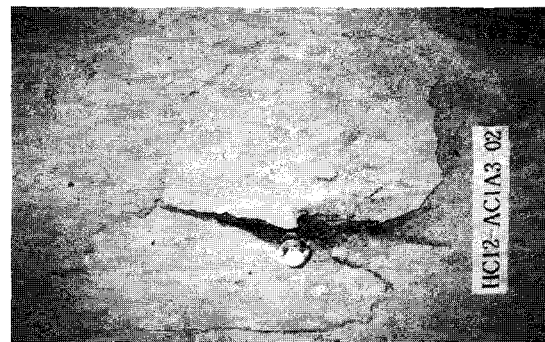


그림 3. HC12-AC1A3 실험체의 부서짐파괴+콘파괴

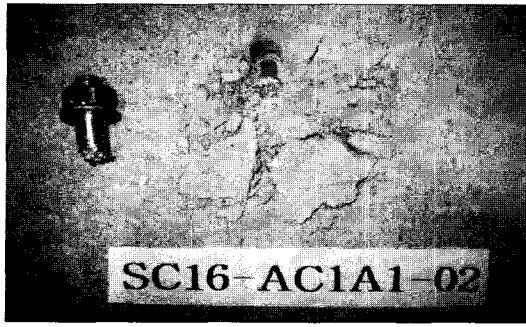


그림 4. SC16-AC1A1 실험체의 앵커파괴



그림 5. SC16-AC1A3 실험체의 앵커변형+콘파괴

적합성을 판단하기 위해서 그림 1과 그림 2는 하중각도에 따른 웨지앵커와 중량물 앵커를 사용한 실험값을 위에서 언급된 3가지 모델에 의한 곡선과 비교하여 나타낸 것이다. 그림 1과 2에서 N_{no} 은 식(2)의 CCD method에 의한 콘크리트 콘 파괴의 공칭강도를 의미한다. 또한 그림 1에서 V_s 는 식(4)의 ACI318-02의 앵커파괴 강도를 그림 2에서 V_{cp} 은 식(9)의 콘크리트 부서짐강도를 의미한다. 2점 쇄선은 직선방정식을 점선은 ACI 318-02에서 채용하고 있는 3개의 직선 함수식을 실선은 타원형함수식을 나타낸 것이다.

인발 및 전단에 의한 조합하중에 대한 외국의 설계식에서 직선방정식은 거의 채용하고 있지 않으면, ACI 318-02 기준에서는 3개의 직선으로 구성된 함수식을 채용하고 있으며, 타원형 함수식은 ACI 318-02 기준의 Commentary에서 다루고 있다.

그림 1에서 앵커파괴가 주로 발생한 웨지앵커는 인발 무차원값($N_{u, test}/N_{no}$)보다 전단무차원값($V_{u, test}/V_s$)이 크게 나타내는데, 웨지앵커는 앵커파괴강도가 콘크리트 콘 파괴강도보다 다소 작기 때문에 조합하중에 의한 앵커의 내력은 앵커파괴강도에 지배되는 것으로 판단된다. 반면에 그림 2에서 콘크리트 파괴가 주로 일어난 고

하중 앵커는 콘크리트 콘 파괴강도보다 콘크리트 부서짐파괴 강도가 크기 때문에 콘크리트 콘 파괴에 의해서 조합하중의 내력이 결정되는 것으로 판단된다.

그림 3~그림 5는 하중각도에 따른 3가지 모델의 정확성을 판단하기 위하여 하중각도에 따른 무차원값을 나타낸 것이다. 표 4는 3가지 모델의 무차원값을 통계 처리하여 나타낸 것이다. 그림 3에서 직선의 방정식은 인발 및 전단 내력은 비교적 일치하나 하중각도가 45°에 가까울수록 오차는 커짐을 알 수 있다. 그림 4와 그림 5를 비교하면 3개의 직선 함수식과 타원형 함수식은 하중각도에 따른 큰 차이를 보이지는 않지만 3개의 직선 함수식보다 타원형 함수식이 보다 정확함을 알 수 있다. 표 4에서 3개의 직선 함수식이 타원형 함수식보다 약 3.1% 높게 나타남을 알 수 있다. 이로 미루어 조합하중에 의한 앵커의 내력 평가식은 타원형 함수식이 가장 적절히 표현됨을 알 수 있으며, 3개의 직선 함수식도 큰 오차 없이 표현됨을 알 수 있었다. 또한 내력평가식의 사용성을 고려한다면 약간의 오차는 있지만 3개의 직선 함수식이 편리함을 알 수 있었다. 그러나 직선방정식은 하중각도가 45°에 가까울수록 오차가 커지면 조합하중의 내력평가 식으로는 부정확한 것으로 판단된다.

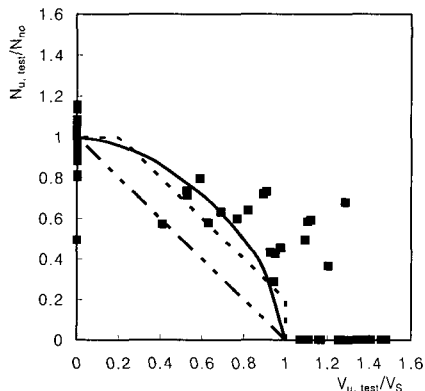


그림 6. 웨지 앵커의 하중각도에 따른 실험값과 함수식의 비교

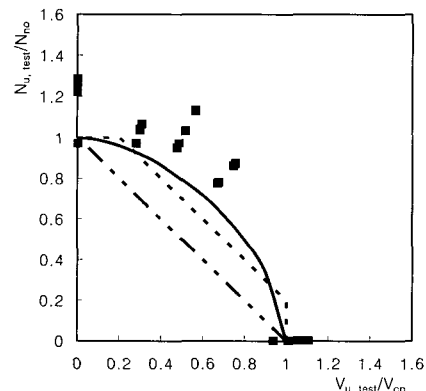


그림 7. 중량물 앵커의 하중각도에 따른 실험값과 함수식의 비교

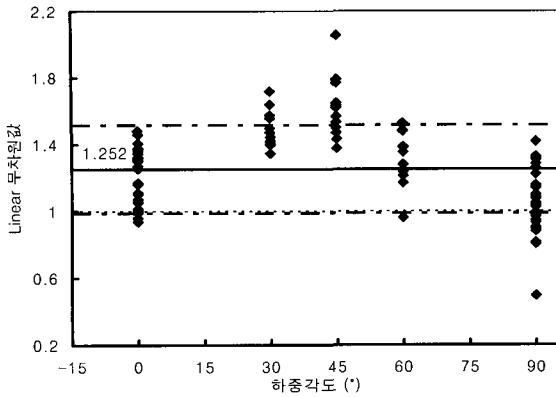


그림 8. 직선방정식에 의한 무차원값 비교

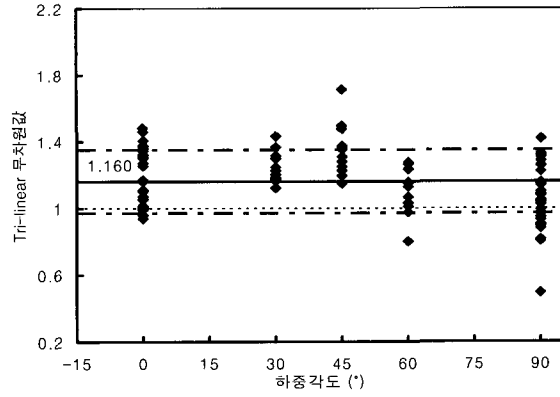


그림 9. 3개의 직선 함수식에 의한 무차원값 비교

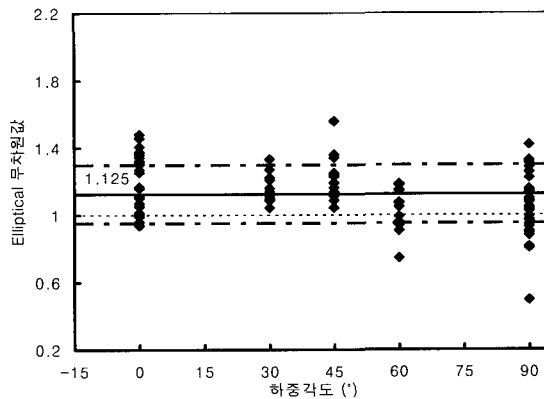


그림 10. 타원 함수식에 의한 무차원값 비교

표 4. 3가지 모델에 따른 실험값의 무차원값 비교

종류	평균	표준편차	변동계수
Linear	1.252	0.264	0.211
Tri-linear	1.160	0.189	0.163
Elliptical	1.125	0.173	0.154

5. 결론

인발 및 전단하중에 의한 조합하중 작용 시 앵커의 내력을 산정하기 위해서 현재 3가지 모델이 제시되어 있다. 본 연구에서는 조합하중 작용 시 앵커의 내력산정 모델의 적합성을 평가하기 위해서 하중각도를 변수로 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 조합하중 작용 시 파괴모드는 하중각도가 30°~45°에서 전단파괴 형상이 지배적으로 나타났으며, 하중각도가 60°에서는 인발과 전단파괴가 복합적인 형상으로 나타났다.
- 2) 웨지앵커는 앵커파괴강도가 콘크리트 콘 파괴강도보다 다소 작기 때문에 조합하중에 의한 앵커의 내력은 앵커파괴강도에 지배되는 것으로 판단

된다. 반면에 콘크리트 파괴가 주로 일어난 고하중 앵커는 콘크리트 콘 파괴강도보다 콘크리트 부서짐파괴 강도가 크기 때문에 콘크리트 콘 파괴에 의해서 조합하중의 내력이 결정되는 것으로 판단된다.

- 3) 조합하중에 의한 앵커의 내력 평가식은 타원형 함수식이 가장 적절히 표현됨을 알 수 있으며, 3개의 직선 함수식도 큰 오차 없이 표현됨을 알 수 있었다. 또한 내력평가식의 사용성을 고려한다면 약간의 오차는 있지만 3개의 직선 함수식이 편리함을 알 수 있었다. 그러나 직선방정식은 하중각도가 45°에 가까울수록 오차가 커지면 조합하중의 내력평가 식으로는 부정확한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2003년도 서일대학 학술연구비에 의해 연구되었음

참고 문헌

- ACI Committee 318 (2002) "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute.
- EOTA (2001) Annex C : Design Methods for Anchorages.
- Fuchs, W., Eligehausen, R., and Breen, J. E. (1995) "Concrete Capacity Design(CCD) Approach for Fastening to Concrete" ACI Structural Journal. Vol.92, No1.
- Johnson, M., and Lew, H. (1990) "Experimental Study of Post-Installed Anchors under Combined Shear and Tension Loading" Anchorage to Concrete, SP-103, G. B. Hasselwander, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich..
- Bode, H., and Roik, K. (1987) "Headed Studs Embedded in Concrete and Loaded in Tension" Anchorage to Concrete, SP-103, G. B. Hasselwander, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich..
- McMackin, P. J., Slutter, R. G., and Fishere, J. W. (1973) "Headed Steel Anchor under Combined Loading" Engineering Journal, AISC, Vol.10, No.2.
- Shaikh, A., and Whayong, Y. (1985) "In-Place Strength of Welded Headed Studs" Journal of the Prestressed Concrete Institute.
- Cook, R. A., and Klingner, R. E. (1992) "Ductile Multiple-Anchor Steel-to-Concrete Connections" Journal of Structural Engineering, Vol. 118, No.6.
- ASTM E488-96 (1996) "Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements".
- ACI 214R-02 (2002) "Evaluation of Strength Test Results of Concrete".

© 논문접수일 : 2005년 03월 15일

© 심사의뢰일 : 2005년 03월 15일

© 심사완료일 : 2005년 03월 28일