후시공 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커의 복합내력에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Combined Strength of Post-Installed Expansion Heavy-Duty and Wedge Anchors

서성연*

Seo, Seongyeon*

Abstract

Post-installed expansion heavy-duty anchors and wedge anchors have been used for fixing and bonding steel frames in the remodeling and construction of structures requiring a high level of safety. The use of post-installed expansion heavy-duty anchors and wedge anchors in the remodeling and construction of structural buildings have significantly increased since the 2000's. However, we observed that a reliable design standard or construction specification for post-installed expansion heavy-duty anchors and wedge anchors had not been established. Therefore, the objective of this study is to obtain basic technical data of post-installed expansion heavy-duty and wedge anchors in the remodeling and construction of buildings. Experimental tests were performed to evaluate the combined strength and fracture mode of post-installed expansion heavy-duty and wedge anchors implanted in concrete. The experimental variables were the loading angle and combined load (tensile and shear loads). The test results for the loading angles and combined loads were compared with the values obtained using the American Concrete Institute design standard.

Key words : Expansion Heavy-duty Anchor and Wedge Anchor, Loading Angle (Combined Load), Combined Strength, Fracture Mode, Design Standard

요 지

최근 건축물의 보수·보강 및 리모델링시 중량물 및 구조부재를 부착시키거나 고정하는데 있어서 시공의 유연성 및 용이성으로 후시공 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커의 사용량이 점점 증가하고 있는 실정이다. 외국에서는 2000년대 초부터 후시공 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커에 대한 다양한 해석 및 실험을 통한 설계식을 제시하여 실제 설계에 사용하고 있으나 현재 우리나라에서는 설계자와 시공자가 신뢰할 수 있는 명확한 설계기준이 부족한 상태로써 대부분 외국의 설계기준에 의존하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 인발과 전단을 동시에 받는 비균열 무근콘크리트에 매입된 후시공 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커를 대상으로 한 복합하중실험을 통하여 익스팬션앵커의 복합내력 및 파괴모드에 미치는 제요소를 평가하고, ACI기준과의 비교·분석을 통하여 향후 보다 합리적인 익스팬션 앵커의 최적설계를 위한 기초자료를 제시코자한다.

핵심용어 : 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커, 하중각도(복합하중), 복합내력, 파괴모드, 설계기준

1. 연구배경 및 목적

구조물에서 구조부재의 앵커접합부에서 파괴가 발생된다면 부재의 파괴보다도 그 결과는 훨씬 심각하며, 특히 그 접합시스템이 어떠한 부정적 인여력 및 재료적 여유력

그리고 항복후 변형능력을 확보할 수 없다면 그 피해의 정도는 더욱 더 심각하게 된다. 그러므로 구조부재의 앵커접합부는 연성적이며 부가여력을 충분히 확보할 수 있도록 설계되어야 하며, 온도변화 및 콘크리트 크리프 영향을 고려한 접합부상세 결정시 주의 깊게 고려되어야 한다. 이는

*교신저자, 정회원, 한라대학교 건축학과 교수(Tel: +82-33-760-1275, Fax: +82-33-760-1271, E-mail: syseo@halla.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Architectural Engineering, Halla University

설계된 앵커에 심각한 추가 인장응력을 유발할 수 있기 때문이다. 또한 바람, 지진, 기계류로부터의 반복 및 진동하중에 대해서도 앵커접합부 설계시 안정성에 대해 충분히 고려되어야 한다. 그리고 앵커접합부는 시공 및 설계상의 실수를 보상할 수 있는 최소한의 여유를 지녀야 하며 현장기술자가 앵커접합부 설계의 내용을 충분히 이해하는 것은 매우 중요하다(EOTA Annex C, 2001).

최근 구조물의 보수보강 및 리모델링시 구조부재를 부착시키거나 고정하는데 있어서 시공의 유연성 및 용이성으로 후시공 익스팬션 중량물앵커(Heavy-duty Anchor) 및 웨지앵커(Wedge Anchor)의 사용량이 점점 증가하고 있는 실정이다. 외국에서는 2000년대 초부터 인발과 전단을 동시에 받는 복합하중하에서 후시공 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커에 대한 다양한 해석 및 실험을 통한 설계식을 제시하여 실제 설계에 사용하고 있으나 현재 우리나라에서는 설계자와 시공자가 신뢰할 수 있는 명확한 설계기준이 부족한 상태로서 외국의 설계기준에 대부분 의존하고 있는 실정이다(ACI Committee 355.2, 2000, 2007; KCI, 2012).

참고로 2000년대 이후 하중각도의 영향을 변수로 하는 다양한 형태의 중량물앵커 및 웨지앵커가 균열 및 비균열 콘크리트에 정착되었을 때 이들의 성능에 대한 실험이 독일 슈투트가르트대학에서 집중적으로 수행되었으며, American Concrete Institute (ACI)에 도입된 카파방법도 슈투트가르트대학의 실험결과로부터 개발되었다(Fuchs et al., 1995).

따라서 본 연구에서는 이러한 연구결과를 중심으로 인발과 전단을 동시에 받는 비균열 무근콘크리트에 매입된 후시공 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커를 대상으로 하중각도에 따른 복합하중실험을 통하여 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커의 복합내력 및 파괴모드에 미치는 제요소를 평가하고, ACI설계기준과의 비교·분석을 통하여 향후 보다 합리적인 익스팬션 앵커의 최적설계를 위한 기초자료를 제시코자한다.

2. 익스팬션 앵커의 메카니즘

2.1 익스팬션 앵커의 거동

현재 많이 이용되는 앵커공법은 크게 앵커가 콘크리트 타설 전에 매립되는 선시공앵커와 앵커가 콘크리트 타설 후에 매립되는 후시공앵커로 구분할 수 있다. 콘크리트 타설 전 매립형앵커는 고정정착형앵커와 볼트접합형앵커 등이 있으며, 고정정착형앵커는 일반볼트, 후크형 및 L형볼트 그리고 스테드 용접판형 등이 있으며, 볼트접합형앵커는 매립형 및 관통 접합기구를 갖는 헤드볼트 등이 있다.

후시공 앵커시스템은 크게 부착식 본드앵커와 익스팬션 앵커로 구분하며, 본드앵커는 미리 뚫은 구멍에 드레드로드를 설치한 후 시멘트와 모래를 혼합한 상용그라우트로 채운 그라우트앵커와 화학약품이 투여되어 부착에 의해 내력이

확보되는 케미컬앵커 등이 있다. 그리고 익스팬션 앵커는 정착시 드릴구멍 내에서 앵커를 팽창시키는 방법으로서, 너트를 조이는 토크조절용 익스팬션앵커, 앵커에 햄머로 충격을 가하는 변형조절용 익스팬션앵커 그리고 드릴구멍 내의 콘크리트면에 언더컷을 형성시켜 팽창하는 언더컷앵커 등이 있다.

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 토크조절용 익스팬션 중량물 앵커 및 웨지앵커로서, 중량물앵커는 두부에 와서와 너트, 삽입부에는 콘을 가진 드레드로드 및 볼트로 구성되어 있고 콘 주위에는 익스팬션 슬리브가 있다. 볼트두부 및 너트를 조임으로써 삽입부의 콘이 익스팬션 슬리브를 통하여 돌출되게 되며 홀의 측면에 대해 슬리브가 팽창하게 된다. 익스팬션 앵커의 인장력은 콘크리트와의 물림작용 및 슬리브와 콘크리트면의 마찰조합으로 발생되며 인장내력은 볼트내력과 유효삽입깊이에 의해 정해진다(ETAG 001, 2013).

웨지앵커는 너트와 와서를 가진 스틸스터드 및 볼트로 구성되어 있으며 스틸스터드 하부는 팽창 가능한 클립 및 웨지를 가진 테퍼드축을 가지고 있다. 너트가 조여지면 클립 및 웨지가 테퍼드축으로부터 치켜 올라가게 되어 홀의 내부면과 볼트축 사이에 썸을 형성하게 된다. 익스팬션 앵커의 부착력은 이러한 슬리브의 확장으로 인해서 앵커와 콘크리트 모재의 부착과 볼트내력의 축력에 의해 확보된다.참고로 Fig. 1은 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커의 표기로서, L 은 앵커 길이, d_0 는 드릴비트직경, d_h 는 피부착재의 구멍크기, h_{ef} 는 유효삽입깊이, h_1 는 드릴구멍깊이 그리고 h 는 콘크리트 모재 두께이다.

(a) Heavy-duty Anchor

(b) Wedge Anchor

Fig. 1. Symbol of Expansion Anchors

2.2 익스팬션 앵커의 파괴모드

접합존에서 익스팬션 앵커가 부착력을 갖는 기본원리는 마찰력, 걸림력, 접착력 그리고 복합하중에 의한다. 마찰력에 의해 부재안으로 인발하중이 전달되며 확장력은 마찰력이 발생하는데 필요하다. 익스팬션 앵커는 확장콘이 안으로 들어가면서 설치되는 원리를 이용하며 슬리브와 관련된 콘의 이동으로 천공된 벽체 안으로 확장력이 작용한다. 이것은 마찰력에 의해 익스팬션 앵커의 횡력이 작용하며 이 확장력은 확장되는 부분의 부재에 영구적인 변형을 가져오게 한다. 그리고 걸림력은 익스팬션 앵커에 있어서 횡력이 부재에 대해 추가적으로 전달되는 결과를 가져오게 한다. Fig. 2는 복합하중 작용시 익스팬션 앵커의 주요파괴모드로서, 콘크리트에 설치된 익스팬션 앵커에 복합하중이 작용하면 앵커파괴 및 콘크리트 단부파괴 그리고 콘크리트 부서짐파괴로 나타난다. 연단거리가 충분히 확보되어 연단거리의 영향을 받지 않는 경우 익스팬션 앵커의 강성에 따라 앵커파괴 혹은 콘크리트 부서짐파괴가 일어날 수 있으며 연단거리가 짧아질수록 콘크리트 단부파괴가 지배적이다. 앵커의 전단파괴는 일반적으로 큰 변형이 발생한 후에 발생하며 유효삽입깊이가 큰 경우와 앵커의 전단강도가 작을 때 그리고 연단거리가 클 경우에 가장 일반적으로 발생한다(Muratli et al., 2004). 전단에 의한 콘크리트의 부서짐에 영향을 주는 중요한 변수는 콘크리트의 압축강도, 앵커의 강성, 앵커직경 그리고 유효삽입깊이 등이다. 앵커의 강성이 큰 경우 모재의 자유단에서 멀리 떨어진 앵커는 콘크리트를 들어올려 콘크리트 부서짐파괴를 유도하며 모재의 자유단에 가까운 앵커는 전단하중을 받을 경우 콘크리트 콘파괴를 보인다. 따라서 콘크리트 단부파괴는 연단거리에 영향이 크며 연단거리가 짧을 때 일반적으로 발생한다.

Fig. 2. Failure Modes of Expansion Anchor

2.3 익스팬션 앵커의 시공시 고려사항

콘크리트 타설후 후시공 익스팬션 앵커 시스템의 정밀검사 절차에는 드릴홀에 앵커를 세팅하는 것을 포함하여 드릴홀의 직경, 드릴홀의 수직도깊이 그리고 적절한 천공장비의 이용여

부 등이 확인되어야 한다. 회전식드릴의 사용은 적절하나 재해머는 구멍주위에 손상을 줄 수 있으므로 사용하지 않는 것이 좋고 홀이 천공된 후에는 깨끗이 청소하고 앵커를 설치한다. 천공후 앵커설치 시간이 소요될 경우 이물질이 들어가지 않도록 조치되어야하며 콘크리트 타설후 후시공 앵커시스템에서 일반적인 현장문제는 먼저 시공된 철근의 간섭이다. 앵커의 시공위치가 기존철근에 간섭이 되는지의 여부는 철근 탐사기로 확인하기도 하고 콘크리트 표면을 칩핑하여 확인할 수도 있다. 정해진 앵커위치가 기존철근에 간섭될 경우 가능한 적용위치를 간섭이 없는 곳으로 이동하는 것이 바람직하나 만약 간섭되는 철근이 인장이나 압축철근이 아니라 온도 철근이라면 철근의 절단 가능성도 검토될 수 있다. 또다른 문제점으로는 볼트를 포스트텐션하는 경우 발생하는 과도한 슬립이다. 이것은 과도한 크기의 구멍 및 잘못된 천공장비를 사용한 경우에 나타나게 되며 과도한 슬립이 발생된 경우에 슬립폼을 재설치한 후 슬립이 허용한계를 초과하지 아니하게 포스트텐션을 가해야 한다. 참고로 Fig. 3은 후시공 부착식 본드형 케미컬앵커(캡슐형 및 주입형)와 익스팬션앵커(변형조절용 및 토크조절용)의 종류이다.

Fig. 3. Types of Post-installed Anchors

3. 복합하중에 관한 기준식

인발과 전단을 동시에 받는 복합하중하에서 비균열 무근콘크리트에 매입된 후시공 익스팬션 중량물앵커 및 웨지 앵커를 대상으로 한 복합내력을 산정하기 위하여 3가지 접근방법이 사용되고 있다(ACI Committee 318, 2008, 2011).

1) 단일 직선식

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

여기서 T_a , V_a 는 작용 인발력 및 전단력이며, T_u , V_u 는 중국인발내력 및 중국전단내력이다.

2) 3구간 직선식

Hallowell, J.M.와 Rodriguez, M.은 후시공 익스팬션 앵커에 대하여 Eqs. (2)~(4)와 같은 3구간 준의 직선함수식을 제안하였다.

$$\frac{T_a}{T_u} = 1 \quad (2)$$

$$\frac{V_a}{V_u} = 1 \quad (3)$$

$$\frac{T_a}{T_u} + \frac{V_a}{V_u} = 1.2 \quad \text{단, } 0.2 \leq V_a/V_u \leq 1.0 \quad (4)$$

3) 타원형 곡선식

Eligehausen, R., and Fuchs, W. 보고서는 인발과 전단을 동시에 받는 복합하중하에서 후시공 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커의 내력식으로 Eq. (5)와 같은 타원형 함수식을 제안하였다.

$$\left(\frac{T_a}{T_u}\right)^{5/3} + \left(\frac{V_a}{V_u}\right)^{5/3} = 1 \quad (5)$$

4. 실험계획 및 방법

Table 1은 콘크리트시험체의 배합설계기준이며, Table 2는 인발과 전단을 동시에 받는 후시공 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커의 하중각도에 따른 내력평가를 위한 실험계획으로서, 기본형실험의 경우 시험체수는 각각의 앵커에 대해 5개로 하였고 하중각도별로 각각의 앵커에 대한 시험체수는 2개로 하였다. 본 연구에서 콘크리트시험체는 ASTM E488에서 제시하는 최소 클리어런스 및 시험체의 유효두께($1.5h_{ef}$)를 확보하기 위해 앵커의 유효삽입깊이, 연단거리, 앵커간격 그리고 하중각도에 대한 변수를 계산하여 비균열 무근콘크리트의 단면을 $1.6 \times 1.6 \times 0.3$ m인 정육면체의 거푸집을 제작후 레미콘을 사용하여 콘크리트를 타설하였다. 그리고 익스팬션 앵커는 적절한 직경의 비트로 구멍을 뚫은 후 구멍내의 먼지나 불순물을 제거한 뒤 삽입후 토크조임하였다.

가력 및 측정방법은 ASTM E 488에 의하여 수행하였으며 예상된 극한하중의 $\pm 1\%$ 이내의 정밀성을 가진 실험장비로 하중을 측정하였다. 하중 및 변위 측정장치는 연속적인 하중-

변위 관계선도를 산출하기 위하여 1초당 한번씩 데이터를 측정할 수 있도록 하였으며 실험장비 및 데이터로거를 사용하여 최소 120 데이터를 각각의 실험에 대해서 기록하였다. 익스팬션 앵커의 가력방법은 로드셀(500 kN)을 설치한후 유압장비(Hydraulic Actuator, 600 kN)를 이용하여 하중제어 방법으로 증가시키며 주기적으로 재하하도록 계획하였다. 그리고 익스팬션 앵커의 변위량을 측정하기 위하여 200 mm LVDT를 설치하였으며 데이터로거를 이용하여 하중 및 변위량을 초당 한번씩 측정하였다. 실험장비는 다양한 구성요소의 항복에 대해서 충분한 내력을 갖게 제작하였으며 익스팬션 앵커와 수직이 되는 축을 고려하여 복합하중을 작용시켰다. Fig. 4는 본 실험에 사용된 후시공 토크조절용 익스팬션 중량물앵커(Heavy-duty Anchor) 및 웨지앵커(Wedge Anchor)이며, Figs. 5~6은 후시공 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커의 복합내력측정을 위한 실험체 셋업 및 복합하중 실험전경이다.

Fig. 4. Types of Expansion Anchors

(a) Loading Angle (30° ~ 60°)

(b) Loading Angle (0°)

(c) Loading Angle (90°)

Fig. 5. Experimental Set-up View according to the Combined Load of Expansion Heavy-duty Anchor and Wedge Anchor

Table 1. Mixture Proportions of Concrete

Compress Strength (N/mm ²)	Water-Cement Ratio (%)	Fine Agg. Ratio (%)	Unit Material Quantity (kN/m ³)			
			Cement	Fine Agg.	Coarse Agg.	Water
23	57	48	3.12	9.31	9.54	1.50

Fig. 6. Experimental Panorama according to the Combined Load of Expansion Heavy-duty Anchor and Wedge Anchor

5. 실험결과 및 분석

5.1 재료시험결과

본 실험에 사용된 비균열 무근 콘크리트 시험체는 레미콘을

사용하였으며 배합설계는 Table 1과 같다. KS F 2403에 따라 제작한 10개의 공시체를 앵커실험용 시험체와 동일한 조건에서 28일 양생시킨 후 만능시험기(UTM, 2,000 kN)를 사용하여 콘크리트 압축강도를 시험하였다. 시험결과 콘크리트 설계기준강도 21 MPa에 대해서 평균압축강도가 23 MPa로 나타났다. 그리고 중량물앵커 및 웨지앵커의 인장시험결과, 중량물앵커의 인장강도는 445 MPa, 웨지앵커는 410 MPa로 각각 나타났다.

5.2 복합하중 실험결과

인발과 전단을 동시에 받는 후시공 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커의 하중각도에 따른 내력평가를 위한 복합하중 실험결과, 하중각도 $0^\circ \sim 45^\circ$ 에서 중량물앵커 및 웨지앵커의 파괴모드는 대부분 전단파괴 형상으로 나타났으며, 하중각도가 60° 에서는 인장과 전단파괴가 복합적인 형상으로 그리고 90° 에서는 인장파괴형상으로 각각 나타났다. 따라서 인발과 전단의 복합하중을 동시에 받는 익스팬션 앵커의 거동은 인발 및 전단하중 작용시의 거동과 유사한 것을 알 수 있었다.

Table 2는 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커의 하중각도에 따른 실험값과 파괴모드를 나타낸것으로 실험값은 평균값을 나타낸 것이다.

Table 2. Test Results of Expansion Heavy-duty Anchor and Wedge Anchors according to the Loading Angles

Specimens	EA	T.V.	E.D. (mm)	Load Angles ($^\circ$)	Test Values (kN)	Fracture Modes
HAD20-0	5	200	400	0	216	CF
HAD20-30	2	200	400	30	178	CF
HAD20-45	2	200	400	45	147	CF
HAD20-60	2	200	400	60	130	CCF
HAD20-90	5	200	400	90	121	CCF
HAD16-0	5	120	400	0	171	CF
HAD16-30	2	120	400	30	130	CF
HAD16-45	2	120	400	45	117	CF
HAD16-60	2	120	400	60	93	CCF
HAD16-90	5	120	400	90	94	CCF
HAD12-0	5	80	250	0	104	CF
HAD12-30	2	80	250	30	87	CF
HAD12-45	2	80	250	45	75	CF
HAD12-60	2	80	250	60	64	CCF
HAD12-90	5	80	250	90	62	CCF
WAD20-0	5	200	400	0	89	AF
WAD20-30	2	200	400	30	78	AF
WAD20-45	2	200	400	45	75	AF
WAD20-60	2	200	400	60	74	CCF
WAD20-90	5	200	400	90	88	CCF
WAD16-0	5	100	250	0	54	AF
WAD16-30	2	100	250	30	47	AF
WAD16-45	2	100	250	45	54	CCF
WAD16-60	2	100	250	60	40	CCF
WAD16-90	5	100	250	90	48	CCF
WAD12-0	5	50	200	0	29	AF
WAD12-30	2	50	200	30	28	AF
WAD12-45	2	50	200	45	38	AF
WAD12-60	2	50	200	60	30	CCF
WAD12-90	5	50	200	90	39	CCF

Note. HAD (Heavy-duty anchor), WAD (Wedge Anchor), T.V. (Torque Value, $N.m$), E.D. (Edge Distance), C.F. (Concrete Fracture), C.C.F. (Concrete Cone Fracture), A.F. (Anchor Fracture)

5.3 파괴모드

Fig. 7은 후시공 익스팬션 중량물앵커(HAD)의 하중각도 ($0\sim60^\circ$)에 따른 시험체의 파괴형상이다. 실험결과 하중각도 30° (HAD20-30)시험체와 하중각도 45° (HAD20-45)시험체는 전형적인 콘크리트 부서짐파괴 형상이 나타났으나, 하중각도 60° (HAD20-60)시험체는 콘크리트 부서짐파괴와 콘크리트 콘파괴가 복합적으로 일어났다.

Fig. 7. Fracture Modes of HAD Specimens

Fig. 8은 익스팬션 웨지앵커(WAD)의 하중각도($0\sim60^\circ$)에 따른 시험체의 파괴형상이다. 하중각도 30° (WAD20-30) 시험체는 전형적인 앵커파괴형상이 나타났으나, 하중각도 45° (WAD20-45)시험체와 하중각도 60° (WAD20-60)시험체는 앵커변형과 콘크리트 콘파괴가 복합적으로 일어났다.

Fig. 8. Fracture Modes of WAD Specimens

5.4 하중각도에 따른 내력평가

인발과 전단을 동시에 받는 복합하중하에서의 하중각도에 따른 내력을 산정하기 위해서는 3가지 접근방법이 사용되는데 단일직선식(Eq. (1)), 3구간 직선범주로 구성된 함수식(Eqs. (2)~(4)) 그리고 타원형함수식(Eq. (5)) 등이다. 현재 단일직선식은 거의 사용되고 있지 않으며, ACI318-11 설계기준에서는 3구간 직선범주로 구성된 함수식을 채용하고 있고, 타원형함수식은 ACI318-11 설계기준의 부록에서 다루고 있다.

Fig. 9는 하중각도에 따른 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커의 실험값을 위에서 언급된 3가지 접근법에 의한 기준식과의 비교를 나타낸 것으로, 2점쇄선은 직선식(Eq. (1))이며, 점선은 ACI318-11 설계기준에서 채용하고 있는 3구간 직선범주로 구성된 함수식(Eqs. (2)~(4)) 그리고 실선은 타원형함수식(Eq. (5))을 각각 나타낸 것이다. Fig. 9에서 N_n 은 익스팬션 앵커의 공칭인장강도 그리고 V_n 은 익스팬션 앵커의 공칭전단강도로서, 실험값은 대부분 기준식에서 제시하는 값이상으로 나타났으며 타원형함수식에 가장 근접하게 나타났다.

(a) Heavy-duty Anchor

(b) Wedge Anchor

Fig. 9. Comparison of Test Values and Eqs. (1)~(5) according to the Loading Angles

Fig. 10은 인발과 전단을 동시에 받는 복합하중하에서 하중각도에 따른 직선식(Eq. (1))에 의한 내력과 실험값을 회귀분석 및 정규분포곡선으로 각각 나타낸 것이다. 시험체 수는 100개이며 실험값을 통계처리한 결과 표준편차는 0.264, 변동계수는 0.211이며, 실험값/직선식내력의 무차원 평균은 1.252로 각각 나타났다.

Fig. 10. Comparison of Test Values and Eq. (1) according to the Loading Angles

Fig. 11은 인발과 전단을 동시에 받는 복합하중하에서 하중각도에 따른 ACI 318-11 설계기준(Eqs. (2)-(4))에 의한 3구간존의 복합하중내력과 실험값을 회귀분석 및 정규분포곡선으로 나타낸 것이다. 실험값을 통계처리한 결과 표준편차는 0.189, 변동계수는 0.163이며, 실험값/3구간직선식내력의 무차원 평균은 1.160으로 각각 나타났다.

Fig. 12는 인발과 전단을 동시에 받는 복합하중하에서 하중각도에 따른 타원형함수식(Eq. (5))에 의한 복합하중내력과 실험값을 회귀분석 및 정규분포곡선으로 나타낸 것이다. 실험값을 통계처리한 결과 표준편차는 0.173, 변동계수는 0.154이며, 실험값/타원형함수식내력의 무차원 평균은 1.125으로 각각 나타났다. 따라서 3개의 함수식을 비교하면 무차원평균은 타원형함수식이 실험값과 가장 근접하였으며, 변동계수도 타원형함수식이 가장 작게 나타났다.

Fig. 11. Comparison of Test Values and Eqs. (2)~(4) according to the Loading Angles

Fig. 12. Comparison of Test Values and Eq. (5) according to the Loading Angles

6. 결 론

인발과 전단을 동시에 받는 복합하중하에서 비균열 무근 콘크리트에 매입된 후시공 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커를 대상으로 한 복합하중 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 인발과 전단을 동시에 받는 복합하중하에서 익스팬션 중량물앵커의 하중각도에 따른 시험체의 파괴형상에서, 하중각도 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 시험체는 전형적인 콘크리트 부서짐파괴 형상이 나타났으나, 하중각도 60° 인 시험체는 콘크리트 부서짐파괴와 콘크리트 콘파괴가 복합적으로 일어났다. 그리고 웨지앵커의 하중각도에 따른 시험체의 파괴형상에서, 하중각도 30° 인 시험체는 전형적인 앵커파괴형상이 나타났으나, 하중각도 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 인 시험체는 앵커변형과 콘크리트 콘파괴가 복합적으로 일어났다.
- (2) 인발과 전단을 동시에 받는 복합하중하에서 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커의 복합하중 실험결과, 하중각도 $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 에서 파괴모드는 대부분 전단파괴 형상으로 나타났으며, 하중각도가 60° 에서는 인장과 전단파괴가 복합적인 형상으로, 그리고 90° 에서는 인장파괴 형상으로 각각 나타났다. 이로 미루어 인발과 전단의 복합하중을 동시에 받는 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커의 거동은 단순인발 및 전단하중 작용시의 거동과 유사한 것을 알 수 있었다.
- (3) 인발과 전단을 동시에 받는 복합하중하에서 중량물앵커 및 웨지앵커의 하중각도에 따른 내력을 평가하기 위해서 ACI 318-11 설계기준에서 제시하는 단일직선식, 3구간 직선범주로 구성된 함수식 그리고 타원형함수식과의 비교·분석결과, 실험값은 대부분 기준식에서 제시하는 값을 만족하고 있으며, 타원형함수식에 가장 근접하게 나타났다. 또한 실험값을 3개의 기준식과 비교했을때 무차원평균 및 변동계수도 타원형함수식이 가장 근접하게 나타났다.
- (4) 인발과 전단을 동시에 받는 복합하중하에서 익스팬션 중량물앵커 및 웨지앵커의 하중각도에 따른 직선식에 의한 기준값과 실험값을 통계처리한 결과 표준편차는 0.264, 변동계수는 0.211이며, 실험값/직선식내력의 무차원 평균은 1.252로 각각 나타났다. ACI 318-11 설계기준에 의한 3구간존의 복합하중내력과 실험값을 통계처리한 결과, 표준편차는 0.189, 변동계수는 0.163이며, 실험값/3구간직선식내력의 무차원 평균은 1.160으로 각각 나타났다. 그리고 타원형함수식에 의한 복합하중내력과 실험값을 통계처리한 결과 표준편

차는 0.173, 변동계수는 0.154이며, 실험값/타원형함수식내력의 무차원 평균은 1.125로 각각 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한라대학교 2020년도 학술연구조성비의 지원을 받아 수행된 연구이며, 이에 감사드립니다.

References

- ACI Committee 318. (2008). *Building code requirements for structural concrete and commentary (ACI 318-08)*. Appendix D: Anchoring to Concrete, American Concrete Institute.
- ACI Committee 318. (2011). *Building code requirements for structural concrete and commentary (ACI 318-11)*. Appendix D: Anchoring to Concrete, American Concrete Institute.
- ACI Committee 355.2. (2000). *Evaluating the performance of post-installed mechanical anchors in concrete (ACI 355.2-00)*. American Concrete Institute.
- ACI Committee 355.2. (2007). *Qualification of post-installed mechanical anchors in concrete (ACI 355.2-07)*. American Concrete Institute.
- EOTA Annex C. (2001). *Design methods for anchorages*.
- ETAG 001. (2013). *Guideline for european technical approval of metal anchors for use in concrete*. European Organization for Technical Approvals (EOTA).
- Fuchs, W., Eligehausen, R., and Breen, J.E. (1995). Concrete capacity design (CCD) approach for fastening to concrete. *ACI Structural Journal*, Vol. 92, No. 1, pp. 73-94.
- Korean Concrete Institute (KCI). (2012). *Concrete structure design code and commentary, Appendix II: Anchoring to concrete*. Seoul: Kimoonddang (in Korean).
- Muratli, H., Klingner, R.E., and Graves III, H.L. (2004). Breakout capacity of anchors in concrete - Part 2: Shear. *ACI Structural Journal*, Vol. 101, No. 6, pp. 821-829.

Received	June 20, 2020
Revised	June 23, 2020
Accepted	July 23, 2020