ISSN 1598-4095 (Print)
ISSN 2287-7401 (Online)
http://dx.doi.org/10.9712/KASS.2023.23.2.53

Journal of Korean Association for Spatial Structures
Vol. 23, No. 2 (통권 92호), pp.53~60, June, 2023

반복하중 패턴에 따른 균열 콘크리트에 매입된 선설치 인서트 앵커의 전단성능 평가

Shear Performance Evaluation of Cast-in Specialty Inserts in Cracked Concrete according to Cyclic Loading Patterns

정 상 덕* 오 창 수** 이 창 환***
Jeong, Sang-Deock Oh, Chang-Soo Lee, Chang-Hwan

Abstract

Recently, a novel cast-in specialty insert was developed in Korea as an anchor for lightweight pipe supports, including fire-protection pipes. As these pipe supports and anchors play a critical role in transferring loads of fire-protection pipes to structural members, it is crucial to evaluate their seismic performance before applying the newly developed insert. In this study, the seismic shear performance of the insert anchors was evaluated through cyclic loading tests based on the loading protocols of ACI 355.2 and FEMA 461. Initially, five monotonic loading tests were conducted on the insert anchors in cracked concrete, followed by cyclic loading tests based on the monotonic test results. The findings revealed that the insert anchors exhibited negligible decrease in shear strength even after cyclic loading. Furthermore, a comparison of the maximum load and displacement of the insert anchors obtained under the loading protocols of ACI 355.2 and FEMA 461 was performed to investigate the applicability of the FEMA 461 loading protocol for anchor performance evaluation.

Keywords : Cast-in specialty insert, Cracked concrete, Cyclic shear loading, Concrete pryout failure

1. 서론

최근 국내에서 소방배관에 사용되는 경량 배관서포트의 정착부에 사용할 목적으로, 기존의 선설치 및 후설치 앵커에 비해 시공성이 개선된 선설치 인서트 앵커가 개발되었다[1,2]. 지진발생 시 소방배관의 손상은 심각한 2차 피해로 이어질 수 있으므로 이에 대한 적절한 내진설계 및 평가가 이루어져야 한다[3]. 소방배관에 작용하는 지진하중은 배관서포트를 통해 안전하게 구조부재로 전달되어야 한다. 이를 위해서 배관서포트의 정착부에 사용되는 선설치 인서트 앵커의 내진성능평가가 매우 중요하다고 볼 수 있다.

* 학생회원, 부경대학교 건축·소방공학부, 석사과정
Division of Architecture and Fire Protection Engineering, Pukyong National University
** 정회원, ㈜양수금속 대표이사, 공학석사
Yang Soo Metals Co., Ltd.
*** 교신저자, 정회원, 부경대학교 건축공학과 부교수, 공학박사
Department of Architectural Engineering, Pukyong National University
Tel: 051-629-6087 Fax: 051-629-7084
E-mail: chlee@pknu.ac.kr

선설치 인서트 앵커와 같은 콘크리트용 앵커에 대한 내진성능평가는 일반적으로 미국의 후설치앵커에 대한 성능평가기준인 ACI 355.2[4]에 따른 모의지진실험을 통하여 이루어진다. 이 모의지진실험은 균열 콘크리트에 묻힌 앵커에 대해 일정수준의 반복하중을 가력한 후, 바로 이어서 단조하중을 가력하는 것으로 잔류강도를 측정한다.

ACI 355.2의 반복하중실험은 사이클이 진행될수록 가력되는 반복하중의 크기가 작아지는 형태이다. Mahrenholtz et al.(2016)에서 이러한 실험방법은 첫 단계에 가력되는 반복하중의 결과로 인해 이어진 단계의 감소된 반복하중에 대한 앵커의 힘-변위거동이 가려지게 되며, 단조하중실험의 결과와 직접적인 비교가 어렵기 때문에 직관적이지 못하다고 지적되었다[5]. 한편 Hoehler & Eligehausen(2008)과 Parks et al.(2018)은 반복하중의 크기가 점증하는 형태의 가력프로토콜이 반복하중 하에서 강성변화를 확인할 수 있기 때문에, 앵커 성능평가실험에 있어 선호된다고 하였다[6,7]. 또한 Stehle & Sharma(2020, 2021)는 앵커의 성능기반설계를 수행

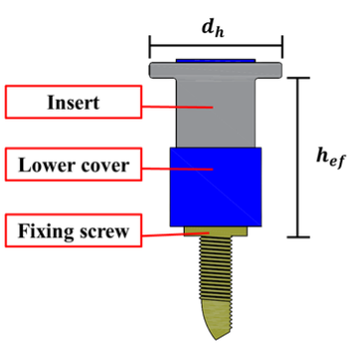
하기 위해서 변위 및 이력거동에 대한 정보가 추가적으로 필요하므로, 변위기반의 새로운 성능평가실험의 도입 필요성을 제기하였다[8,9]. 주로 비구조요소의 내진성능평가실험에 사용되는 FEMA 461[10]의 가력프로토콜은 점진적으로 증가하는 반복변위를 재하하기 때문에, 앵커의 성능평가실험에 적용해 볼 수 있다고 판단된다.

이에 본 연구는 선설치 인서트 앵커에 대하여 ACI 355.2 및 FEMA 461의 가력프로토콜을 사용하여 반복전단실험을 수행하는 것으로 인서트 앵커의 내진전단성능을 평가하였다. 선설치 인서트 앵커에 대하여 5번의 단조하중실험을 먼저 수행하였으며, 이 단조하중실험의 결과를 바탕으로 반복하중실험이 수행되었다. 두 기준의 서로 다른 가력프로토콜로 얻어진 인서트 앵커의 강도 및 변위성능 비교를 통해, 앵커 성능평가실험에 있어 FEMA 461 가력프로토콜의 활용가능성을 평가하였다.

2. 실험개요

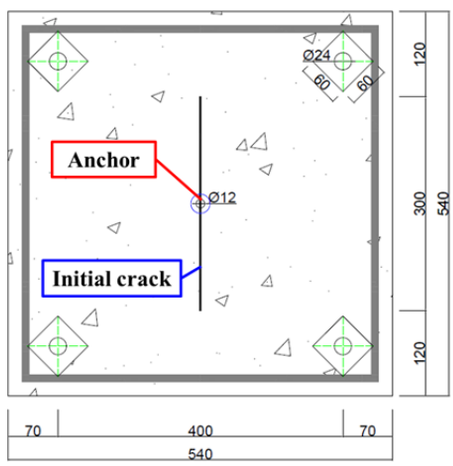
2.1 실험체 제작

본 실험에 사용한 선설치 인서트 앵커는 〈Fig. 1〉에 나타난 바와 같이 인서트와 하부커버로 구성되며, 함께 표현된 고정나사(fixing screw)는 거푸집에서 인서트 앵커의 위치를 고정시켜 주는 역할을 한다. 이 고정나사는 타설된 콘크리트가 굳은 후 거푸집을 탈형하면서 함께 제거된다. 최종적으로 M12 전산볼트를 콘크리트에 묻힌 인서트에 밀어 넣는 것으로 앵커의 설치작업이 완료된다. 선설치 인서트 앵커의 헤드크기(d_h)는 42 mm이며, 유효묻힘깊이(h_{ef})는 50 mm이다. 일반적인 콘크리트용 앵커에 비해 d_h가 크고 h_{ef}는 얕은 형태이다.



〈Fig. 1〉 Schematic of cast-in specialty insert

본 실험에서는 ACI 355.2에서 규정되어 있는 바와 같이 균열 콘크리트에서 앵커의 전단성능을 평가하였다. 이를 위해 콘크리트 블록은 0.5 mm 폭의 초기 균열을 갖도록 계획하였고, 〈Fig. 2〉와 같이 폭과 길이가 540 mm, 높이가 200 mm인 블록을 총 15개 제작하였다. 블록 제작을 위한 개별 거푸집에 0.5 mm 두께의 강판을 선설치 인서트 앵커와 함께 매립하였다가 타설된 콘크리트가 초결됐을 시점에 해당 강판을 제거하는 방법으로, 블록을 관통하는 길이 300 mm의 초기 인공균열을 생성하였다.



〈Fig. 2〉 Cracked concrete block (in mm)

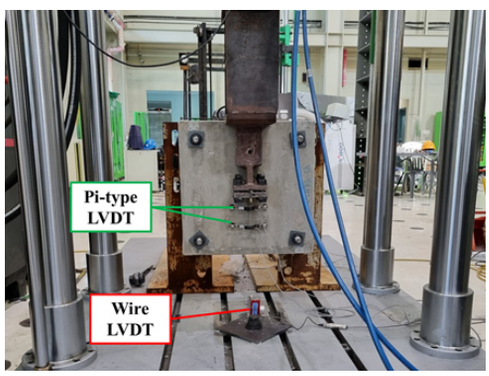
콘크리트 블록 타설 시 KS F 2403[11]에 따른 공시체 6개를 함께 제작하였으며, 콘크리트 블록과 동일한 조건에서 양생하였다. 콘크리트 양생일수 28일(실험 시작일)과 35일(실험 종료일)에 각 3개의 공시체에 대해 KS F 2405[12]에 따른 압축강도 시험을 수행하였고, 각각의 압축강도는 24.98 MPa과 26.48 MPa로 평가되었다. 이들의 평균값인 25.73 MPa을 2.3절의 강도 예측 시 콘크리트의 설계기준압축강도(f_{ck})로 적용하였다.

2.2 실험방법

반복하중실험 수행에 앞서 5회의 단조하중실험을 먼저 수행하였다. 그 결과를 바탕으로 ACI 355.2에 따른 반복하중실험을 5회 수행하였으며, 마지막으로 FEMA 461의 가력프로토콜을 적용한 반복하중실험을 3회 수행하였다.

본 실험의 세팅모습이 〈Fig. 3〉에 제시되어 있다. 가

력에는 250 kN 용량의 UTM을 사용하였고, 앵커 노출부인 M12 전산볼트는 가력지그를 통해 UTM 헤드와 연결하였다. 전단하중은 초기 균열과 평행한 방향으로 가하였다. 실험이 진행되는 동안 균열폭의 변화를 측정하기 위하여 가력지그와의 간섭이 없는 위치에 2개의 pi-type LVDT를 설치하였다. 가력지그와 맞닿아 있는 전산볼트에는 wire LVDT를 설치하여 앵커의 수평변위를 측정하였다.



〈Fig. 3〉 Test setup

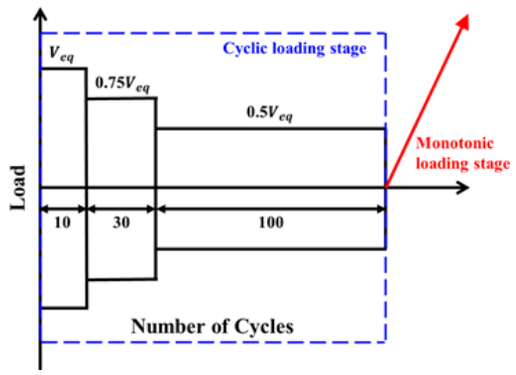
2.2.1 단조하중실험

단조하중실험은 변위제어를 통해 지면에서 위로 잡아당기는 방향으로 가력되었다. 가력속도는 12 mm의 변위까지 2 mm/min, 이후는 3 mm/min으로 적용하였다. 5개의 단조하중 실험체명은 S-M-1부터 S-M-5까지이며, 가력순서에 따라 명명하였다.

2.2.2 ACI 355.2에 따른 반복하중실험

ACI 355.2에 규정된 가력프로토콜이 〈Fig. 4〉에 나타나 있다. ACI 355.2에서 최대반복하중(V_{eq})은 단조하중실험으로 측정된 평균 최대하중의 절반으로 규정된다. 또한 반복하중단계가 종료된 이후 이어지는 단조하중단계에서 최소 5개 실험체의 잔류강도가 기준치(V_{eq}의 160%) 이상이어야 하며, 이를 만족하지 못할 시 V_{eq}를 저감하고 실험체의 잔류강도가 저감된 V_{eq}의 160% 이상이 되도록 재실험을 수행해야 한다.

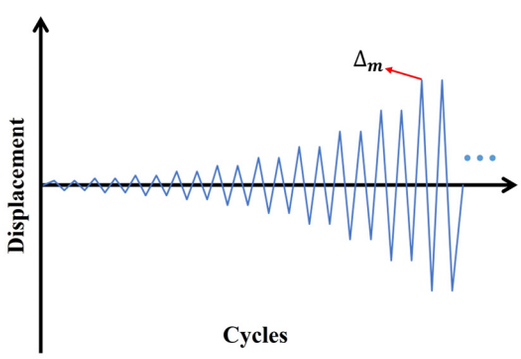
본 실험에서 사인파로 변화하는 반복하중은 1 Hz로 가력하였고, 단조하중은 앞선 단조하중실험과 동일한 가력속도 및 방향으로 적용하였다. 실험체명은 가력순서에 따라 S-ACI-1부터 S-ACI-5까지의 5개로 명명하였다.



〈Fig. 4〉 Loading protocol of ACI 355.2

2.2.3 FEMA 461에 따른 반복하중실험

〈Fig. 5〉는 FEMA 461의 가력프로토콜을 보여준다. 이 가력프로토콜은 앞선 ACI 355.2의 가력프로토콜과 달리 변위제어로 반복하중을 가력한다. 목표반복변위(Δ_m)는 심각한 피해가 시작되는 예상변위로 정의되며, 일반적으로 10번째 또는 그 이후의 단계(step)에서 Δ_m에 도달하도록 계획된다.



〈Fig. 5〉 Loading protocol of FEMA 461

앵커성능평가실험에 있어 Δ_m에 대한 명확한 규정은 없다[5]. 이에 본 연구에서는 반복하중으로 인한 성능저하를 고려하여, 단조하중실험에서 측정된 최대하중 시 변위의 90% 값으로 적용하였다. 또한 본 연구에서는 매 단계별 반복되는 사이클의 횟수를 각 1, 2, 3회로 달리하여 이에 대한 영향을 알아보고자 하였다. 가력의 종료시점은 RC 구조요소에 대한 실험기준인 ACI 374.2R-13[13]을 참고하여, 최대하중에서 20% 하중감소가 나타나는 시점 이후로 설정하였다. 가력은 3 mm/min의 속도로 시작하였고, 매 3개의 단계마다 3

mm/min씩 가력속도를 증가시켰다. 실험체명은 단계별 가력사이클의 횟수에 따라 S-FEMA-1부터 S-FEMA-3까지의 3개로 명명하였다.

2.3 국내 앵커설계기준에 따른 강도 예측

선행 수행된 연구에서 선설치 인서트 앵커를 일반적인 선설치앵커로 가정하여 현행 설계기준을 적용했을 때 그 예측이 유효한 것으로 나타났다[1,2]. 따라서 본 실험을 수행하기에 앞서, 국내 앵커설계기준인 KDS 14 20 54[14]에 따라 파괴형태 및 강도를 예측하였다.

KDS 14 20 54에서 고려하는 전단에 대한 선설치앵커의 파괴형태는 강재파괴, 콘크리트 브레이크아웃파괴, 콘크리트 프라이아웃파괴이다. 먼저, 강재파괴의 공칭강도(V_{sa})는 식 (1)로 산정된다.

$$V_{sa} = A_{se,V} f_{uta} \tag{1}$$

$A_{se,V}$는 앵커의 유효단면적으로, M12 전산볼트의 유효단면적인 84.3 mm^{2}를 적용하였다. f_{uta}는 앵커 강재의 설계기준인장강도이며, 860 MPa 이하로 제한된다. 본 실험에서는 인장강도 1040 MPa의 전산볼트를 사용하였고, 이에 따라 f_{uta}는 상한값인 860 MPa로 적용하였다. 산정된 앵커의 공칭 강재강도는 43.50 kN이다.

콘크리트 브레이크아웃파괴에 대한 공칭강도(V_{cb})는 식 (2)로 계산된다.

$$V_{cb} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \psi_{ed,V} \psi_{c,V} \psi_{h,V} V_b \tag{2}$$

A_{Vc}는 콘크리트 브레이크아웃 파괴면 투영면적이며, A_{Vco}는 모서리의 영향, 간격 또는 부재 두께에 제한을 받지 않는 경우의 파괴면 투영면적이다. $\psi_{ed,V}$, $\psi_{c,V}$ 및 $\psi_{h,V}$는 각 연단거리, 콘크리트의 균열, 부재의 두께에 대한 수정계수이다. V_b는 균열 콘크리트에서 전단을 받는 앵커의 기본 콘크리트 브레이크아웃 강도이며, 선설치 인서트 앵커의 경우 81.08 kN이다. 식 (2)를 통해 산정된 V_{cb}는 51.28 kN이다.

또한 다음 식 (3)을 통해 콘크리트 프라이아웃파괴에 대한 공칭강도(V_{cp})를 계산할 수 있다.

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cp} \tag{3}$$

k_{cp}는 프라이아웃강도계수이며, h_{ef}가 65 mm 미만인 경우 1.0이다. N_{cp}는 전단을 받는 앵커의 공칭 프라이아웃강도로, 선설치앵커의 경우 인장에 대한 공칭 브레이크아웃 강도(N_{cb})를 적용하도록 되어 있다. 선설치 인서트 앵커의 N_{cb}는 17.93 kN이며, 최종적으로 산정된 V_{cp} 또한 17.93 kN이다.

선설치 인서트 앵커에 대해 KDS 14 20 54에 따라 각 파괴형태별 산정된 공칭강도 중 가장 낮은 값은 V_{cp}인 17.93 kN이다. 이에 따라 예측된 선설치 인서트 앵커의 파괴형태는 콘크리트 프라이아웃이다. 또한 앵커설계기준에서는 전단의 내진설계에 대하여 별도의 강도감소계수를 적용하지 않으므로, V_{cp}를 반복하중실험의 결과와 직접 비교해 볼 수 있다.

3. 실험결과 및 분석

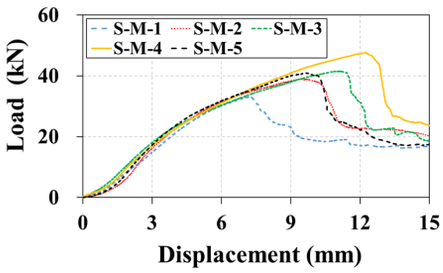
3.1 단조하중실험

〈Table 1〉은 단조하중실험의 주요결과를 나타낸 것이다. 실험체별 파괴형태, 최대하중(V_{max}), V_{max} 도달 시 변위($\delta(V_{max})$)가 제시되어 있으며, 〈Fig. 6〉은 실험체의 하중-변위 관계를 보여준다.

단조하중실험의 모든 실험체는 설계기준으로 예측된 것과 같이 콘크리트 프라이아웃으로 파괴되었다. 측정된 실험체의 평균 V_{max}는 40.42 kN으로, 예측된 값인 V_{cp}의 2.25배에 달하였다. 한편 실험체 사이에 V_{max}와 $\delta(V_{max})$의 차이는 다소 컸는데, 이로써 선설치 인서트

〈Table 1〉 Monotonic loading test results

Specimen	Failure mode	V_{max} (kN)	$\delta(V_{max})$ (mm)
S-M-1	Concrete pryout	33.07	7.26
S-M-2	Concrete pryout	38.97	9.50
S-M-3	Concrete pryout	41.51	11.09
S-M-4	Concrete pryout	47.63	12.17
S-M-5	Concrete pryout	40.93	9.64



〈Fig. 6〉 Load-displacement curves of monotonic loading test specimens

앵커의 전단거동은 설치작업의 차이(앵커의 수직도 및 앵커 주변 콘크리트의 상태)에 민감한 영향을 받는 것으로 판단된다. 실험이 진행되는 동안 초기 0.5 mm의 균열폭은 최대 약 2.5 mm까지 확장되었다.

본 단조하중실험의 결과를 바탕으로 반복하중실험의 최대반복하중 및 목표반복변위를 결정하였다. 먼저, ACI 355.2에 따른 반복하중실험의 V_{eq}는 기준에서 규정되어 있는 단조하중실험의 평균 V_{max}의 절반이 아닌, 최소 V_{max}의 절반으로 적용하였다. V_{eq}를 감소시킨 것은 인서트 앵커의 거동이 설치상황에 따라 민감하게 반응하여, 반복하중 하에서 앵커강도가 크게 감소할 가능성을 고려해야 했기 때문이었다.

따라서 본 실험의 V_{eq}는 단조하중실험에서 얻어진 최소 V_{max}의 절반인 16.50 kN으로 설정하였고, 이에 따라 ACI 355.2에서 요구하는 최소 잔류강도는 26.40 kN으로 설정되었다. 한편 FEMA 461 가력프로토콜의 Δ_m은 단조하중실험으로 측정된 $\delta(V_{max})$의 90%에 대한 평균인 9 mm로 설정하였다.

3.2 ACI 355.2에 따른 반복하중실험

ACI 355.2에 따른 반복하중실험의 주요결과는 〈Table 2〉에 요약되며, 개별 실험체의 하중-변위 관계는 〈Fig. 7〉에 제시되어 있다. 〈Fig. 7〉에는 단조하중실험의 결과가 중첩되어 있으며, 파선은 요구 잔류강도를 나타낸 것이다.

모든 실험체는 반복하중이 가력되는 동안 파괴는 물론 별다른 손상을 보이지 않았으며, 초기 0.5 mm의 균열폭도 0.03 mm 이내의 변화만 나타냈다. 반복하중 종료 후 이어진 단조하중단계에서 모든 실험체는 콘크리트 프라이아웃으로 파괴되었다. 본 반복하중실험으로 측

〈Table 2〉 ACI 355.2 cyclic loading test results

Specimen	Failure mode	V_{max} (kN)	$\delta(V_{max})$ (mm)
S-ACI-1	Concrete pryout	46.48	12.11
S-ACI-2	Concrete pryout	43.69	12.79
S-ACI-3	Concrete pryout	44.93	12.95
S-ACI-4	Concrete pryout	46.48	14.04
S-ACI-5	Concrete pryout	42.38	10.35

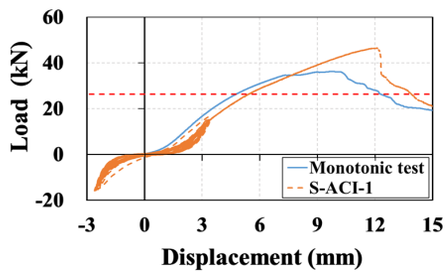
정된 개별 실험체의 V_{max}는 기준의 요구 잔류강도를 모두 만족하였다. 초기 반복하중 재하로 인한 강도감소는 발생하지 않았고, 측정된 평균 V_{max}는 44.79 kN으로, 단조하중실험의 평균 V_{max}보다 약 11% 높게 나타났다.

본 반복하중실험의 결과를 바탕으로 ACI 355.2에 따른 평가를 수행하였다. 본 실험에서는 기준의 규정보다 낮은 수준의 V_{eq}가 적용되었기 때문에, 단조하중실험으로 평가된 설계강도($V_{5\%}$)에서 저감된 강도를 내진설계에 사용해야 한다. 본 실험을 통한 내진강도감소계수는 ACI 355.2에서 규정된 V_{eq}(=20.21 kN) 대비 본 실험에 적용한 V_{eq}의 비율인 0.82이다. 5회의 실험에 대한 앵커의 $V_{5\%}$는 24.51 kN으로 산정되었고[2], 이에 따라 본 반복하중실험으로 평가된 선설치 인서트 앵커의 내진전단강도는 20.10 kN이 된다. 이 값은 설계기준으로 산정된 V_{cp}보다 12% 컸고, 이에 기반하면 현행 국내 앵커 설계기준에 따른 선설치 인서트 앵커의 내진전단강도설계는 유효하다고 판단된다.

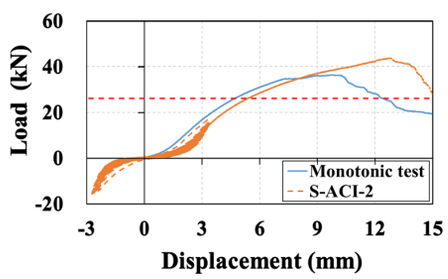
3.3 FEMA 461에 따른 반복하중실험

FEMA 461에 따른 반복하중실험의 주요결과는 〈Table 3〉에 제시된다. 다른 실험들과 동일하게 FEMA 461 반복하중실험의 모든 실험체들 또한 콘크리트 프라이아웃파괴가 발생하였다. 초기 0.5 mm 폭의 균열은 실험이 종료될 때까지 최대 약 1.5 mm까지 확장되었다. 〈Fig. 8〉에는 실험체별 하중-변위 관계가 단조하중실험의 결과와 비교되어 있다.

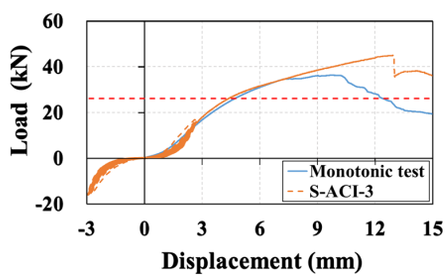
FEMA 461 반복하중실험으로 측정된 평균 V_{max}는 정방향과 부방향에 대해 각각 36.56 kN과 37.84 kN이었



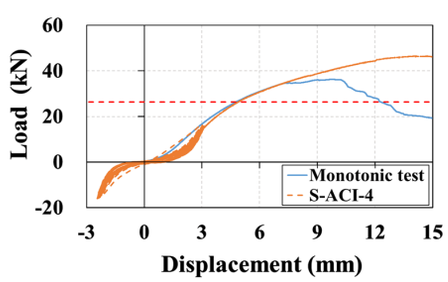
(a) S-ACI-1



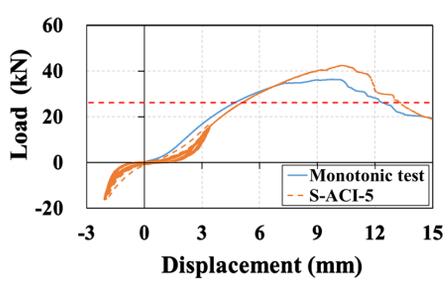
(b) S-ACI-2



(c) S-ACI-3



(d) S-ACI-4



(e) S-ACI-5

〈Fig. 7〉 Load-displacement curves of ACI 355.2 cyclic loading test specimens

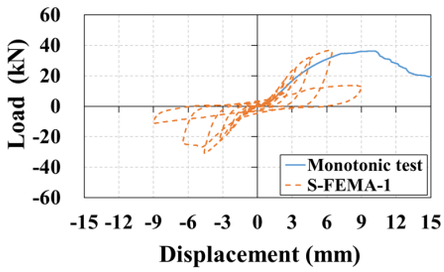
〈Table 3〉 FEMA 461 cyclic loading test results

Specimen	Failure mode	V_{max} (kN)	$\delta(V_{max})$ (mm)
S-FEMA-1	Concrete pryout	(+) 36.64	(+) 6.20
		(-) 30.75	(-) 4.57
S-FEMA-2	Concrete pryout	(+) 36.50	(+) 8.97
		(-) 43.51	(-) 8.94
S-FEMA-3	Concrete pryout	(+) 36.54	(+) 8.95
		(-) 39.26	(-) 6.39

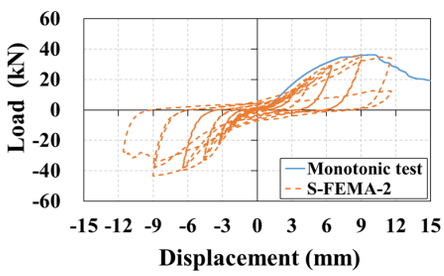
다. 이 둘의 평균은 37.20 kN으로, 설계기준으로 산정된 V_{cp}의 2배를 초과하였다. 한편 단조하중실험으로 측정된 평균 V_{max}와 비교하면, 약 8% 정도 작았다. 본 실험의 경우 앵커의 최대하중까지 계속해서 이어진 점증반복하중으로 인해, 앵커 샤프트 주변부의 콘크리트에서 손상이 누적되었다. 이러한 영향으로 타 실험대비 하중감소가 나타난 것으로 판단된다.

FEMA 461의 가력프로토콜을 적용한 실험체의 V_{max} 및 $\delta(V_{max})$는 ACI 355.2에 따라 수행된 반복하중실험의 결과보다도 작은 것을 확인할 수 있다. 이에 기반할 때, FEMA 461 가력프로토콜을 적용할 경우 기존 앵커성능평가방법보다 앵커의 강도 및 변위성능을 보수적으로 평가할 수 있을 것이다. 또한 반복하중실험을 수행하기 전에 앵커의 예상성능에 대한 한계를 미리 설정하지 않아도 되며, 측정된 강도 및 변위성능을 단조하중실험의 결과와 직접적으로 비교할 수 있기 때문에, 보다 직관적이고 정확한 평가가 가능할 것이라 판단된다. 앵커성능평가에 있어 FEMA 461 가력프로토콜을 활용한 반복하중실험은 하중-변위 관계의 전범위에 해당하는 주기거동을 알 수 있다는 이점도 있다.

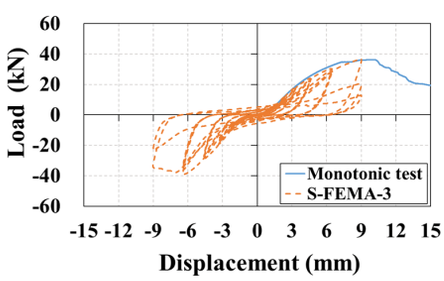
본 실험에서 FEMA 461 가력프로토콜의 매 단계별 가력되는 사이클의 수를 1, 2, 3회로 달리하여 적용하였지만, 이에 따라 V_{max} 및 $\delta(V_{max})$는 큰 영향을 받지 않았다. 그러나 본 연구에서는 각 경우별 1회의 실험만 수행되어 적용 사이클 횟수에 대한 신뢰도 높은 평가가 이루어질 수 없었다. 따라서 보다 정밀한 평가가 수행되기 전까지는 FEMA 461에 따른 앵커의 성능평가 시 기준에서 규정되어 있는 바와 같이, 매 단계별 2 사이클의 반복하중이 적용되어야 할 것으로 보인다.



(a) S-FEMA-1



(b) S-FEMA-2



(c) S-FEMA-3

〈Fig. 8〉 Load-displacement curves of FEMA 461 cyclic loading test specimens

4. 결론

선설치 인서트 앵커의 전단성능을 알아보기 위하여 5회의 단조하중실험, 5회의 ACI 355.2에 따른 반복하중실험, 그리고 3회의 FEMA 461에 따른 반복하중실험을 수행하였다. 본 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 균열 콘크리트에 매입된 선설치 인서트 앵커는 전단하중의 패턴과 관계없이 모두 콘크리트 프라이아웃으로 파괴되었으며, 이는 현행 국내 앵커설계기준에서 선설치앵커로 가정하여 예측한 파괴형태와 동일하였다.

2) ACI 355.2에 따라 반복하중실험을 수행한 5개 실험체의 평균 최대하중은 44.79 kN으로, 단조하중실험으로 측정된 평균 최대하중인 40.42 kN에 비해 감소되지 않았다. 또한 ACI 355.2 반복하중실험체의 개별 최대하중을 단조하중실험과 비교하였을 때 초기 반복하중 재하에 따른 강도저하를 보이지 않았으며, 현행 국내 앵커 설계기준에 따른 선설치 인서트 앵커의 내진전단강도설계도 유효한 것으로 평가되었다.

3) FEMA 461 가력프로토콜의 Δ_m은 단조하중실험에서 최대하중이 나타났던 변위값의 90%로 적용하였고, FEMA 461의 반복가력프로토콜을 적용한 실험체의 평균 최대하중은 37.20 kN으로 단조하중실험 결과와 비교하면 약 8% 낮았다. 이는 앵커의 최대강도까지 점증하는 반복하중으로 인해, 앵커가 매입된 주변 콘크리트에서 손상이 누적되어 나타난 결과로 판단된다.

4) FEMA 461 가력프로토콜에 대해 매 단계별의 사이클 횟수를 1, 2, 3회로 달리하여 적용하였지만, 그에 따라 측정된 최대강도 및 변위성능의 차이는 크지 않았다. 본 실험에서는 각 경우에 해당하는 실험체의 개수가 단 하나씩이었기 때문에 정확한 경향을 파악하는데 어려움이 있다. 추후 세밀한 평가가 이루어지기 전까지 FEMA 461 가력프로토콜을 사용한 앵커성능평가실험은 기준에서 규정된 바와 같이 단계별 2 사이클의 반복하중이 권장된다.

5) FEMA 461 가력프로토콜이 적용된 실험체의 최대하중 및 변위는 ACI 355.2에 따른 반복하중실험체의 결과보다 낮게 나타났다. 즉 FEMA 461을 활용한 성능평가방법은 앵커의 강도 및 변위성능을 보수적으로 평가한다고 볼 수 있고, ACI 355.2와 달리 실험 수행에 앞서 예상성능에 대한 한계를 미리 설정할 필요가 없기 때문에 보다 정확하고 직관적인 평가가 가능하다. 또한 앵커의 최대하중까지 주기거동에 대한 정보도 얻을 수 있다는 장점이 있다. 이를 바탕으로 FEMA 461의 반복하중실험이 앵커 성능평가에 적절하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 성과물은 중소벤처기업부에서 지원하는 2021년도 산학연 Collabo R&D사업(No. S3103759)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

1. Jeon, J. S., Kim, J. H., Oh, C. S., & Lee, C. H., “Tensile and Shear Strengths of New Type of Cast-in-Place Concrete Insert Anchors Under Monotonic Loading”, Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.21, No.2, pp.49~56, 2021, doi: 10.9712/KASS.2021.21.2.49
2. Jeong, S. D., Oh, C. S., & Lee, C. H., “Experimental evaluation of tension and shear capacities of new headed cast-in specialty inserts in cracked concrete”, International Journal of Concrete Structures and Materials (Accepted).
3. Tan, J., Zhang, P., Feng, Q., & Song, G., “Passive Seismic Protection of Building Piping Systems – A Review”, International Journal of Structural Stability and Dynamics, Vol.20, No.3, 2030001, 2020, doi: 10.1142/S0219455420300013
4. ACI Committee 355, “Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete (ACI 355.2-19) and Commentary”, Farmington Hills, MI (USA): ACI, 2019.
5. Mahrenholtz, P., Eligehausen, R., Hutchinson, T. C., & Hoehler, M. S., “Behavior of Post-Installed Anchors Tested by Stepwise Increasing Cyclic Load Protocols”, ACI Structural Journal, Vol.113, No.5, pp.997~1008, 2016, doi: 10.14359/51689023
6. Hoehler, M. S., & Eligehausen, R., “Behavior of Anchors in Cracked Concrete under Tension Cycling at Near-Ultimate Loads”, ACI Structural Journal, Vol.105, No.5, pp.601~608, 2008.
7. Parks, J. E., Pantelides, C. P., Ibarra, L., & Sanders, D. H., “Stretch Length Anchor Bolts under Combined Tension and Shear”, ACI Structural Journal, Vol.115, No.5, pp.1317~1328, 2018, doi: 10.14359/51702236
8. Stehle, E. J., & Sharma, A., “A new displacement-based approach for pulsating tension load tests of post-installed anchors for the use in structural applications under seismic actions”, Engineering Structures, Vol.211, 110431, 2020, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.110431
9. Stehle, E. J., & Sharma, A., “Review of Testing and Qualification of Post-Installed Anchors under Seismic Actions for Structural Applications”, CivilEng, Vol.2, No.2, pp.406~420, 2021, doi: 10.3390/civileng2020023
10. FEMA, “Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components (FEMA-461)”, Washington, DC (USA): Federal Emergency Management Agency, 2007.
11. Korea Agency for Technology and Standards (KATS), “KS F 2403: standard test method for making and curing concrete specimens”, Seoul (Korea), Korean Standards Association, 2019.
12. Korea Agency for Technology and Standards (KATS), “KS F 2405: standard test method for compressive strength of concrete”, Seoul (Korea), Korean Standards Association, 2017.
13. ACI Committee 374, “Guide for Testing Reinforced Concrete Structural Elements under Slowly Applied Simulated Seismic Loads (ACI 374.2R-13)”, Farmington Hills, MI (USA): ACI, 2013.
14. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), “Anchor Design Code for Concrete (KDS 14 20 54)”, MOLIT, 2021.

- Received : April 24, 2023
- Revised : May 24, 2023
- Accepted : May 25, 2023