



단일 고전단 링앵커의 전단강도 모델을 이용한 다수 고전단 링앵커의 전단강도 평가

김문길¹⁾ · 천성철^{1)*} · 김영호²⁾ · 심혜정¹⁾ · 배민서¹⁾

¹⁾인천대학교 도시건축학부 ²⁾(주)지승컨설턴트 기술연구소

Shear Strength Evaluation on Multiple High-Shear Ring Anchors Using Shear Strength Model of a Single High-Shear Ring Anchor

Mun-Gil Kim,¹⁾ Sung-Chul Chun,^{1)*} Young-Ho Kim,²⁾ Hye-Jung Sim,¹⁾ and Min-Seo Bae¹⁾

¹⁾Division of Architecture and Urban design, Incheon National University, Incheon 22012, Rep. of Korea

²⁾Institute of R&D, Jiseung Consultant Co. Ltd., Seoul 06128, Rep. of Korea

ABSTRACT A shear strength model for the high-shear ring anchor consisting of a steel ring and a rod was developed based on the shear tests on single high-shear ring anchors. The shear strength was found to be proportional to $f_{ck}^{0.75}$ which is a similar characteristic to the strength of shear connectors used in composite structures. The effects of the compressive strength of concrete, edge distance, and embedment length of rod are included in the proposed model. Comparison with 22 tests shows that the average and the coefficient of variation of test-to-prediction ratios are 1.01 and 7.57%, respectively. Push tests on the specimens having four high-shear ring anchors at each face were conducted and the measured shear strengths were compared with the predictions by the proposed model. For the specimen with an edge distance of 100 mm, a splitting failure occurred and for the specimens with an edge distance of 150 mm, a failure mode mixed with splitting and bearing occurred, which were very similar to the failures of shear tests on single high-shear ring anchors. In case of a splitting failure, the overlap of failure surfaces could be prevented by providing the longitudinal spacing of 400 mm which is four times of the edge distance. In case of a bearing failure, the failure area is less than 150 mm from the center of the anchor and therefore the overlap of failure surfaces could be prevented by providing the longitudinal spacing of 200 mm. The average of the test-to-prediction ratios of Push tests is 98%, which means that the proposed mode can be applied to predict the shear strength of the multiple high-shear rings.

Keywords : anchor, shear, splitting failure, bearing failure, push test

1. 서 론

기존 구조물의 리모델링, 내진보강, 용도변경에 따른 구조 보강의 수요가 증가하고 있다. 보강 공사^{1,4)}에서는 후설치 앵커를 이용한 신규 콘크리트 연결이 매우 빈번하게 발생하며, 접합면은 주로 전단력을 저항한다. 신규 콘크리트 접합부에는 시공이 단순하고 내력 평가방법^{5,6)}이 명확하여 롯데(rod) 앵커가 주로 사용된다. 구멍 천공의 시공성을 고려하여 주로 지름 16 mm 이하인 롯데 앵커가 많이 사용되고 있으나, 앵커의 전단강도가 낮아 다수 앵커가 요구된다. 다수 앵커를 노후화된 기존 구조물의

보강에 시공할 경우, 기존 구조물의 손상이 가속화될 수 있으며, 신설된 보강 구조물의 성능 또한 신뢰하기 어렵게 될 수 있다. 따라서 기존 롯데 앵커보다 높은 전단강도를 갖는 고전단 앵커의 개발이 필요하다.

후설치 앵커의 단면적을 증대시키면, 앵커의 강재강도가 높아지고 콘크리트와 앵커의 접촉면적이 증가되어 콘크리트 지압강도도 향상된다. 그러나 앵커 지름이 증가하면 재료비가 증대하고 구멍 천공작업이 매우 어려워진다.

이러한 문제점을 극복하기 위해 강관을 롯데 앵커 대용으로 사용하는 연구^{7,8)}가 일본에서 수행되었다. 강관 앵커는 콘크리트와 강관의 접촉 면적이 커서 국부적인 콘크리트 지압파괴를 방지할 수 있으므로 신규 콘크리트 접합면의 전단강도 향상에 매우 효과적이다. 그러나 강관은 롯데에 비해 지름이 크기 때문에 기존 철근 콘크리트 구조물에 배근된 철근과 간섭이 발생할 수 있어 깊은 천공이 불가능하다. 얇은 물힘깊이를 갖는 강관 앵커는

*Corresponding author E-mail : scchun@inu.ac.kr

Received March 1, 2016, Revised May 31, 2016,

Accepted June 27, 2016

©2016 by Korea Concrete Institute

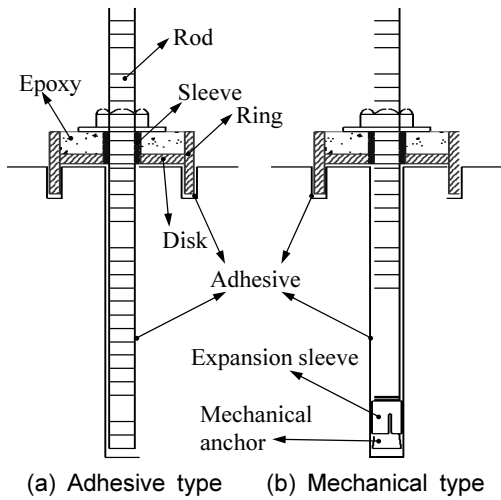


Fig. 1 High-Shear Ring Anchor⁹⁾

신구 콘크리트 접합면에 발생하는 인장력에 저항할 수 없으므로 신구 콘크리트 사이에 이격이 발생하게 된다. 이로 인해 강관과 콘크리트 사이의 지압면적이 급격히 저감되어 전단강도를 상실하게 된다.

기존의 룯드 앵커와 강관 앵커의 문제점을 해결하기 위하여 Fig. 1의 고전단 링앵커⁹⁾가 개발되었다. 고전단 링앵커는 룯드에 강제 링을 추가한 형태로 구성된다. 강제 링 내부는 에폭시를 충전하고, 앵커 룯드를 강제 슬리브가 감싸며, 강제 링과 강제 슬리브는 강제 디스크로 연결된다. 강제 링으로 인해, 단일 룯드 앵커에 비해 높은 강도와 강성을 지니게 된다. 선행연구¹⁰⁾에서는 고전단 링앵커의 설계법과 구성을 소개하고, 단조가력 전단실험을 통해 단일 고전단 링앵커의 전단 강도의 특성을 평가하였다.

이 연구에서는 단일 고전단 링앵커의 전단실험 결과를 바탕으로 고전단 링앵커의 전단강도 평가식을 제안하였다. 실제 구조물에서는 다수 앵커가 사용되고 이 경우 앵커 종방향 및 횡방향 간격에 따라 단일 앵커와 다른 전단강도가 발현될 수 있다. 따라서 다수 고전단 링앵커의 Push 실험을 수행하여 개발된 평가식의 적용 가능성을 검토하였다.

2. 단일 고전단 링앵커 전단강도 평가모델

선행연구¹⁰⁾에서는 단일 고전단 링앵커의 전단강도를 평가하기 위하여 Fig. 2의 단조가력 전단실험을 실시하였다. 콘크리트 부재 폭, 콘크리트 압축강도, 앵커 룯드의 묻힘깊이를 실험변수로 설정하고 총 22개의 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 앵커 룯드는 M16 부착식 앵커(나사산을 고려한 유효단면적 144 mm²)로 제조사에서 제공하는 공칭인장강도 f_{ua} 는 500 MPa이며, 공칭전단강도는 43.2 kN이다. 강제 링의 외경은 89.1 mm이고, 링의 묻힘깊이는 20 mm로 기존 구조물의 철근과 간섭이 발생하지 않도록 계획하였다. 상세한 실험계획과 실험결과는 참고 문헌 10에 수록되어 있다.

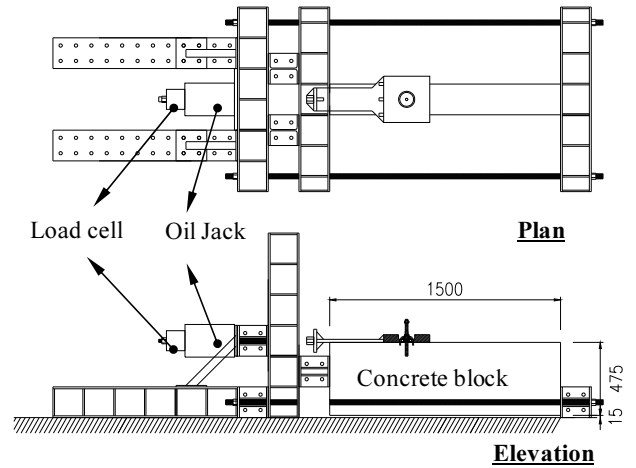


Fig. 2 Test set-up of shear test¹⁰⁾ (unit: mm)

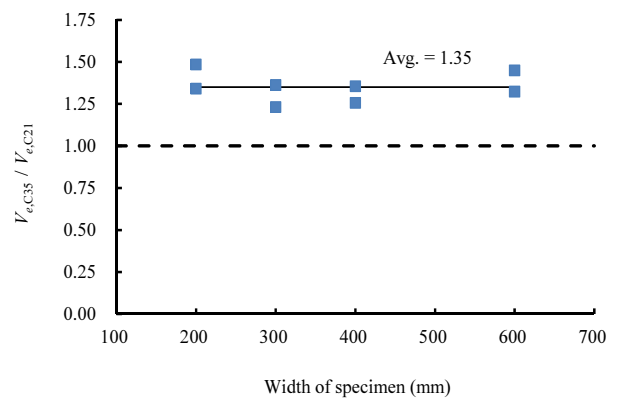


Fig. 3 Effects of concrete strength on shear strength

단일 고전단 링앵커 전단실험 결과¹⁰⁾를 분석하여 고전단 링앵커의 전단강도 평가모델을 개발하였다. 실험결과 콘크리트 압축강도, 부재 폭, 앵커묻힘깊이가 전단강도에 영향을 주는 것으로 나타났으며, 다음 각 절에서 각 인자의 영향을 분석하였다.

2.1 콘크리트 압축강도의 영향

앵커 룯드 묻힘깊이가 90 mm이고, 콘크리트 강도를 제외하고 나머지 조건은 동일한 실험체 사이의 전단 강도를 Fig. 3에서 비교하였다. x축은 실험체 폭이며, y축은 설계강도 35 MPa (실험일 강도 41.3 MPa)로 제작된 실험체(이하 C35-실험체)와 설계강도 21 MPa (실험일 강도 25.4~28.2 MPa)로 제작된 실험체(이하 C21-실험체)의 전단강도 비율을 나타내었다. 콘크리트 강도가 약 1.5배 증가함에 따라 전단강도는 대략 35% 증가하였다.

콘크리트 강도의 영향을 정량적으로 산정하기 위하여, 전단강도 V_e 는 콘크리트 강도의 α 제곱에 비례한다고 가정하였다. C21-실험체 대비 C35-실험체를 비교한 결과 α 값은 평균 0.75로 평가되어, 단일 고전단 링앵커의 기본 평가식을 식 (1)과 같이 구성되었다.

$$V_{p1} = kf_{ck}^{0.75} \quad (1)$$

여기서, k 는 부재폭에 따른 계수이다.

일반적으로 콘크리트 인장강도에 지배를 받는 콘크리트 전단강도, 정착과 이음길이 산정식, 앵커의 콘크리트 파괴강도는 콘크리트 압축강도의 0.5제곱에 비례한다. 그러나 고전단 링앵커의 경우 링 외면의 지압에 의한 영향이 크기 때문에 콘크리트 압축강도의 영향이 큰 것으로 판단된다.

0.75제곱은 전단연결재의 전단강도 평가식과 매우 유사하다. 강-콘크리트 합성 바닥판에 많이 사용되는 전단연결재의 설계강도¹¹⁾는 식 (2)로 산정한다.

$$Q_n = 0.5A_{sc}\sqrt{f_{ck}E_c} \quad (2)$$

여기서, Q_n 은 전단연결재 전단강도이며, A_{sc} 는 전단연결재 단면적, E_c 는 콘크리트 탄성계수이다.

전단연결재 전단강도는 콘크리트 강도와 콘크리트 탄성계수 곱의 제곱근에 비례하다. 콘크리트 탄성계수는 콘크리트구조기준¹²⁾에서는 재령 28일 콘크리트 압축강도 (f_{cu})의 1/3제곱, ACI 318-14⁶⁾에서는 콘크리트 설계기준 강도(f'_c)의 1/2제곱에 비례한다고 규정한다. 따라서 전단연결재의 전단강도는 콘크리트 강도의 2/3 또는 3/4 제곱에 비례하게 된다. 고전단 링앵커의 전단강도에 대한 콘크리트의 영향은 전단연결재의 전단강도와 유사함을 알 수 있다.

2.2 부재 폭의 영향

부재 폭 300 mm까지는 부재 폭이 증가할수록 전단강도가 향상되었으나, 부재 폭 300 mm 이상에서는 고전단 링앵커의 전단강도는 부재 폭의 영향을 받지 않았다. 앵커 중심에서 측면 연단거리가 가까우면 측면 피복두께가 쪼개지는 파괴가 발생되며, 일정 연단거리 이상에서는 쪼갬파괴보다 강제 링 전면부 콘크리트가 지압으로 파괴되는 특징이 있다.

앵커 룯드 묻힘깊이가 90 mm이고, 지압파괴가 지배적인 부재 폭 300 mm 이상 시험체의 전단강도를 $f_{ck}^{0.75}$ 로 나눠서 식 (1)에서 가정된 k 값으로 9.07을 얻었다. 이 연구에서는 부재 폭 중심에 단일 고전단 링앵커가 설치되었지만, 실제 구조물에서는 앵커가 여러 열 설치될 수 있으므로, 부재 폭보다는 측면 연단거리를 변수로 설정하는 것이 바람직하다. 앵커 중심에서 측면 연단거리를 c 로 정의하면, 측면 연단거리 150 mm 이상이고 앵커 룯드 묻힘깊이 90 mm인 고전단 링앵커의 전단강도는 식 (3)으로 산정할 수 있다.

$$V_{p2} = 9.07f_{ck}^{0.75} \quad (c \geq 150\text{mm}) \quad (3)$$

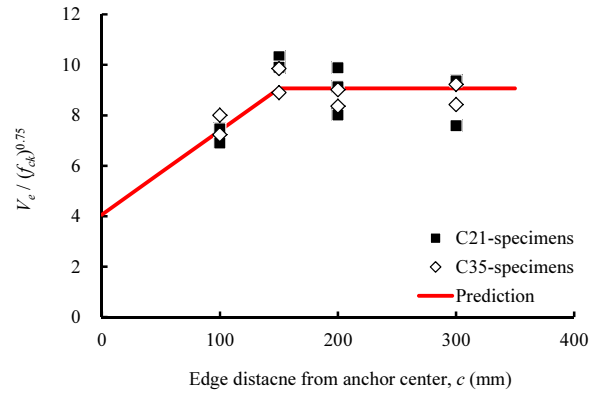


Fig. 4 Test-to-prediction comparisons with varying concrete strength and edge distance

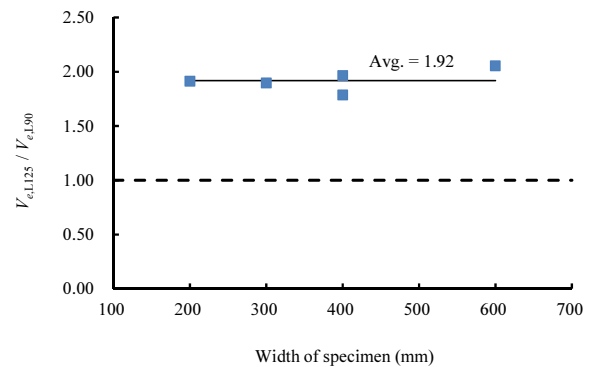


Fig. 5 Comparisons of shear strength for embedment depth of anchor rod and width of specimens

부재 폭 200 mm와 300 mm에서는 부재 폭이 커짐에 따라 전단 강도가 향상되었으므로 부재 폭에 따른 전단강도를 선형으로 가정할 수 있다. 실험 결과를 회귀분석하여 식 (4)를 얻었다. Fig. 4에서 실험결과와 식 (3), (4)를 비교한 결과, 제안식이 콘크리트강도와 측면 연단거리에 따른 단일 고전단 링앵커의 전단강도를 적절히 평가하는 것으로 판단된다.

$$V_{p3} = (4.06 + 0.0334c)f_{ck}^{0.75} \quad (c \leq 150\text{mm}) \quad (4)$$

여기서, c 는 측면연단거리이다.

2.3 앵커 룯드 묻힘깊이의 영향

앵커 룯드의 묻힘깊이가 깊어질수록 전단 강도는 향상되었다. 강제 링에 작용되는 전단하중과 콘크리트 저항력 사이에는 필연적으로 편심이 발생되며, 이 편심으로 앵커 룯드에는 인장력이 유발된다. 앵커 룯드가 인장으로 파괴되면 강제 링은 회전하여 고전단 링앵커가 파괴된다. 앵커 룯드 묻힘깊이가 깊을수록 앵커 인장 강도가 향상되기 때문에, 강제 링의 회전을 방지할 수 있다. 묻힘깊이의 영향을 고려하기 위하여, 동일 조건에서 묻힘깊이만 증가한 시험체 간의 전단 강도를 비교하여 Fig. 5에 나

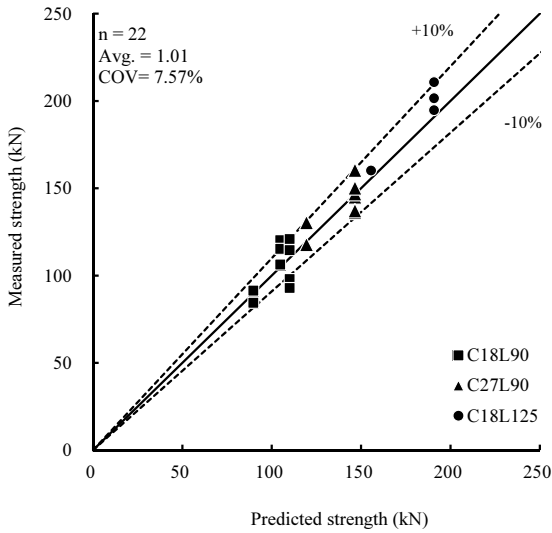


Fig. 6 Comparisons of shear test results with predicted values

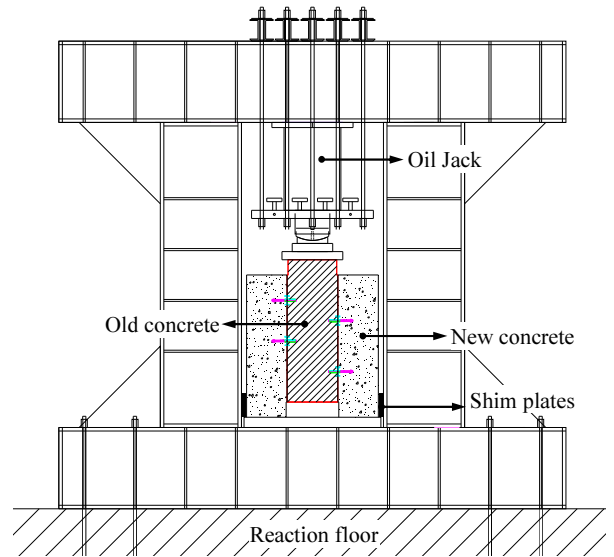


Fig. 7 Test set-up of push test

타내었다. 묻힘깊이가 90 mm에서 125 mm로 증가함에 따라 전단강도는 평균 1.92배 향상되었다. 묻힘깊이 90~125 mm 구간에서 전단강도는 묻힘깊이에 선형적으로 비례한다고 가정하고 실용적 측면에서 계수를 단순화 하면, 전단강도 평가식은 식 (5)로 수정된다.

$$V_p = \left(4 + \frac{c}{30}\right) \left(\frac{h_{ef}}{40} - 1.25\right) f_{ck}^{0.75} \quad (c \leq 150) \quad (5)$$

$$= 9 \left(\frac{h_{ef}}{40} - 1.25\right) f_{ck}^{0.75} \quad (c > 150)$$

여기서, c 는 측면연단거리이며, h_{ef} 는 앵커 룯드의 묻힘 깊이를 나타낸다.

식 (5)에 따른 예측강도와 실험값을 Fig. 6에서 비교하였다. 예측식이 콘크리트 강도와 앵커 룯드의 묻힘깊이에 따른 편향 없이 단일 고전단 링앵커의 전단 강도를 적절히 예측하고 있다. 총 22개의 실험값과 비교한 결과 [실험값]/[예측값]의 비는 1.01이며 변동계수는 7.57%로 매우 정확히 예측하고 있다. 실험체 수량과 변동계수를 이용하여, 콘크리트구조기준¹²⁾ 부록 II장 콘크리트용 앵커의 설계강도에서 채택하고 있는 5% 분위수 안전율을 산정하면 식 (6)과 같다.

$$n_{5\%} = \bar{x} - ks = 1.02 - 2.132 \times 0.0765 = 0.85 \quad (6)$$

따라서 콘크리트 구조기준과 동등한 안전율을 갖는 고전단 링앵커의 전단강도는 식 (7)과 같다.

$$V_n = n_{5\%} V_p$$

$$= 0.85 \left(4 + \frac{c}{30}\right) \left(\frac{h_{ef}}{40} - 1.25\right) f_{ck}^{0.75} \quad (c \leq 150) \quad (7)$$

$$= 7.65 \left(\frac{h_{ef}}{40} - 1.25\right) f_{ck}^{0.75} \quad (c > 150)$$

3. 다수 고전단 링앵커의 전단실험 계획

3.1 가력 및 계측방법

실제 구조물의 보강에서는 다수의 앵커가 사용되며, 그룹 앵커의 전단강도는 단일 앵커의 전단강도에 앵커 개수를 곱한 값과 상이할 수 있다.¹²⁾ 다수 고전단 링앵커가 사용되면 앵커 사이의 종방향 및 횡방향 간격이 전단강도에 영향을 줄 수 있으므로, 이를 변수로 Push 실험을 계획하였다.

Push 실험은 기존 콘크리트 블록 좌우면에 앵커를 설치한 후 신설 콘크리트 블록을 좌우에 타설하여 실험체를 구성한다. 실험체 제작 및 실험방법은 Eurocode 4 Annex B.2¹³⁾를 준용하였다. 실험 방법은 Fig. 7과 같이 3개 블록으로 구성된 실험체에서 중앙 블록 상부를 가력하고, 좌우 블록 하부에 반력이 형성되도록 구성하였다. 하중은 10,000 kN 용량의 오일잭으로 단조 가력하였으며, 상부 및 하부에서 신규 콘크리트 접합면의 상대 변위를 계측하였다.

3.2 실험변수 및 실험체 설계

전단력이 가해지는 종방향의 앵커 간격 효과를 파악하기 위해 한쪽 면에 4개씩 양면에 총 8개의 고전단 링앵커를 설치하였다. 룯드의 묻힘깊이는 125 mm로 설정하였으며, 기존 콘크리트의 설계기준압축강도는 21 MPa 신설 콘크리트는 35 MPa로 계획하였다. 부재 폭 300, 400, 500 mm 콘크리트 블록에 측면 연단거리를 100 mm, 150 mm로 설정하였다. 식 (5)에 의한 예상 전단강도는 측면 연단거리가 100 mm인 실험체는 1,079 kN, 측면 연단거리가 150 mm인 실험체는 1,324 kN로 산정되었다.

고전단 링앵커를 설치한 실험체 4개와 비교를 위해 룯드 앵커를 설치한 실험체 1개를 제작하였으며 각 실험체

Table 1 Test matrix of push test (Unit: mm)

Specimens*	Anchor type	Expected shear strength, $V_{p,d}$ (kN)	Width of specimens (mm)	Anchor arrangement	Longitudinal spacing (mm)	Transverse spacing (mm)	Edge distance (mm)
H-B400-2-L150-T200-C100	Rod anchor	864	400	2 rows	150	200	100
R-B300-S-L200-T100-C100	Ring anchor	1,079	300	staggered	200	100	100
R-B300-1-L200-C150	Ring anchor	1,324	300	1 row	200	-	150
R-B400-S-L200-T100-C150	Ring anchor	1,324	400	staggered	200	100	150
R-B500-2-L400-T200-C150	Ring anchor	1,324	500	2 rows	400	200	150

*①-B②-③-L④-T⑤-C⑥: ① is the type of anchors, H represents a rod anchor and R represents a ring anchor; ② is the width of the specimen in mm; ③ represents anchor arrangement, S means a staggered arrangement, 1 means a single row, and 2 means double rows; ④ is the anchor spacing in a longitudinal direction in mm; ⑤ is the anchor spacing in a transverse direction in mm; and ⑥ is the edge distance in mm.

** Notation: $V_{p,d}$ is a predicted shear strength by Eq. (5) with design values of concrete and rod.

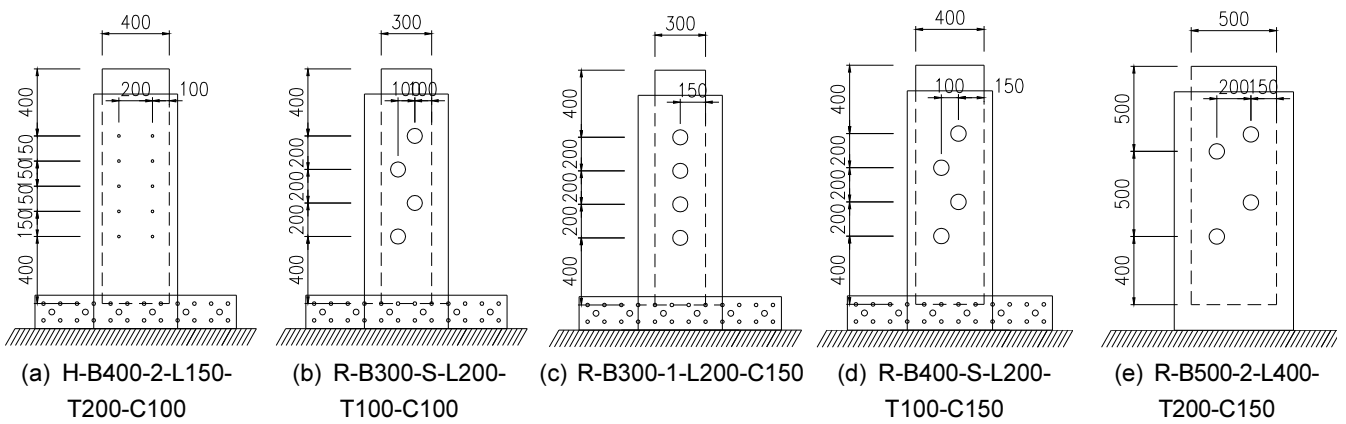


Fig. 8 Details of push test specimens

별 상세치수는 Table 1과 Fig. 8에서 보여주고 있다.

롯데 앵커는 H사의 M16 (단면적 144 mm²) 부착식 앵커를 사용하였으며, 한쪽 면에 10개씩 총 20개의 롯데 앵커를 설치하였다. 롯데 앵커 사용 실험체의 공칭 전단강도는 864 kN이다. 실험체 폭 400 mm에 롯데 앵커를 2열로 배치하였다. 측면 연단거리, 종방향 및 횡방향 앵커 간격은 제조사의 추천 최소값보다 크게 하여 그룹앵커 효과가 발생하지 않도록 하였다. 실제 구조물에서 가장 촘촘한 간격으로 배치할 수 있는 상황을 묘사하였다.

R-B300-S-L200-T100-C100 실험체는 폭 300 mm에 고전단 링앵커를 수평간격 100 mm, 수직간격 200 mm로 엇배치하여 측면 연단거리 100 mm를 갖는다. 쪼갬파괴가 예상되며, 가장 낮은 전단강도를 지닐 것으로 판단된다. 실제 구조물에서 폭이 좁은 보 또는 벽체에 다수의 고전단 링앵커가 설치될 상황을 묘사하였다. R-B300-1-L200-C150 실험체는 폭 300 mm에 1열로 4개의 고전단 링앵커를 배치하였다. 측면연단거리가 150 mm로 단일 고전단 링앵커의 전단실험 결과에 따르면 측면 쪼갬 파괴와 지압파괴가 혼합될 것으로 예상된다. R-B400-S-L200-T100-C150 실험체는 폭 400 mm에 수평간격 100 mm, 수직간격 200 mm로 엇배치하여 측면 연단거리 150 mm를 갖는다. R-B300-

1-L200-C150 실험체에 비해 앵커 사이 간격이 넓기 때문에 보다 높은 강도를 지닐 것으로 예상된다. R-B500-2-L400-T200-C150 실험체는 가장 넓은 폭 500 mm에 2열 배치하였다.

신구 콘크리트 사이의 전단력이 순수하게 앵커에 의해서만 발생되도록, 신구 콘크리트 사이에 비닐을 끼워 콘크리트 사이의 마찰을 제거하였다.

4. 다수 고전단 링앵커의 전단실험 결과

콘크리트 강도시험은 실험일에 3개 실시하였으며, 기존콘크리트의 압축강도는 23 MPa, 신설 콘크리트의 압축강도는 36.5 MPa였다. 앵커 롯데의 인장강도는 632 MPa이다.

4.1 파괴유형

최대 내력에 이를 때까지 특별한 균열이나 손상은 관찰되지 않았으며, 최대 내력에 도달한 후 쪼갬에 의한 측면 피복의 균열이 관찰되었다. 양쪽 신설 콘크리트 측면에 끼움 강판을 설치하여 수평방향 벌어짐을 방지하였으

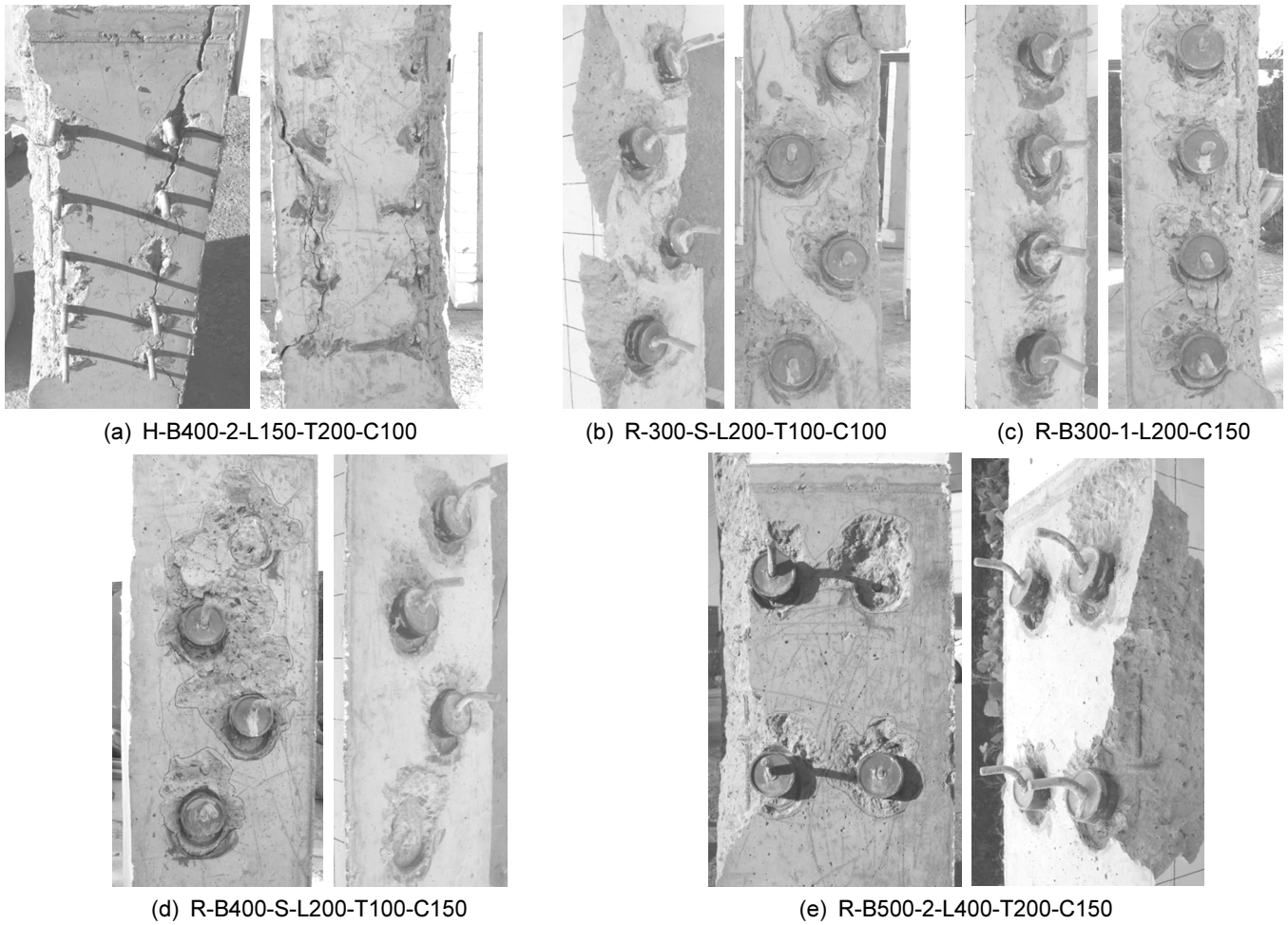


Fig. 9 Typical specimen failures of Push test

나, 상부에는 최대 하중에 이르러 수평방향으로 벌어짐이 발생하였다. 각 실험체별 파괴유형을 Fig. 9에 나타내었다.

H-B400-2-L150-T200-C100 실험체는 앵커 열을 따라 쪼갬 균열이 발생하였다. 예상대로 강제 파괴가 발생되었고, 앵커 강제 강도가 모두 발현된 후 파괴되었다.

R-B300-S-L200-T100-C100 실험체는 측면 연단거리가 100 mm로 짧기 때문에 예상대로 측면으로 쪼갬파괴가 발생되었다. 최대 내력 이후 지속적으로 내력을 유지하면서 상대 변위가 발생되어 강제 링의 회전도 발생되었다. 동일 열에서 앵커 사이 간격이 400 mm로 쪼갬파괴가 서로 중첩되지는 않았다. 콘크리트구조기준¹²⁾에서 전단을 받는 그룹 앵커의 콘크리트 파괴강도에서 앵커 사이 간격이 연단거리의 3배 이상이면, 단일 앵커로 취급하는 규정이 고전단 링앵커에서도 동일하게 적용될 수 있음을 알 수 있다.

R-B300-1-L200-C1500 실험체는 측면 연단거리가 150 mm로 우측면에서만 측면 쪼갬 파괴가 발생되었다. 단일 고전단 링앵커 전단실험에서도 연단거리 150 mm 실험체에서 지압파괴가 쪼갬파괴와 혼합되어 발생한 것과 동일한 현상이 관찰되었다. 앵커 사이 간격이 200 mm로, 측면 연

단거리 150 mm의 1.33배에 불과하여 측면 쪼갬파괴 영역이 중첩되었다. 그러나 최대 내력에 도달할 때까지는 이러한 현상이 관찰되지 않은 것으로 보아, 최대 내력은 지압에 의해 발현되고 이후 지속적인 변형이 발생되면서 측면 쪼갬 파괴가 형성된 것으로 판단된다. 따라서 최대 내력을 지배한 파괴현상은 지압파괴로 판단된다. 지압파괴 영역은 중첩되지 않았으며, 단일 고전단 링앵커 전단 실험¹⁰⁾과 마찬가지로 지압파괴 영역은 200 mm 미만으로 판단된다. 따라서 고전단 링앵커의 길이 방향 간격으로 200 mm를 배치하면 개별 고전단 링앵커가 모두 지압파괴에 도달할 수 있음을 알 수 있다.

R-B400-S-L200-T100-C150 실험체는 측면 연단거리 150 mm에 앵커 사이 수직 간격 200 mm, 수평 간격 100 mm에서 지압파괴가 발생되었다. 좌측면 1개와 우측면 1개의 앵커는 과도한 변형으로 파단되었다. 앵커 사이의 콘크리트가 지압파괴로 일부 손상되었으나, 최대내력 시점에는 상호 영향이 없었던 것으로 판단된다.

R-B500-2-L400-T200-C150 실험체는 측면 연단거리 150 mm에 앵커 간격 400 mm 실험체에서 측면 쪼갬파괴가 발생되었다. 과도한 변형으로 좌측면에서 1개 앵커가 파단되었다. 최대 내력 발현 후에도 지속적으로 내력을 유지하

면서 변형이 발생되었다. 측면 연단거리 150 mm를 갖는 3개의 실험체 중 측면 쪼갬파괴가 가장 심각하게 발생되었으며, 파괴면도 중첩되어 그룹 앵커처럼 거동하였다. 콘크리트구조기준 콘크리트용 앵커에서 앵커 간격으로 요구하는 연단거리의 3배가 유효한 것으로 판단된다. 가장 큰 내력이 예상되었으나, 측면 쪼갬파괴가 발생되면서 내력이 낮게 발현되었다.

4.2 하중-변위 관계

고전단 링앵커로 제작된 모든 실험체가 최대 내력 발현 후 상당한 변위가 발생된 후 파괴되었다. 다수의 앵커가 거의 동시에 최대 강도를 발현하고, 쪼갬파괴가 발생된 경우에도 지압으로 지지가 가능하였기 때문에 전단하중에 대해서도 최대 강도가 상당 기간 유지되었다. 실험체별 하중과 상대변위의 관계를 Fig. 10에 나타내었다.

H-B400-2-L150-T200-C100 실험체는 쪼갬 파괴 발생 이후에 강재의 전단 파단이 발생될 때까지 상당한 변형이 발생하였다. 최대 내력 발현시점이 지연된 것은, 20개의 앵커가 설치되어 동시에 내력이 발현되지 않았기 때문이다. 또한 강재의 변형경화가 발생되어 과도한 변형에서 최대 내력이 발현된 것으로 판단된다.

R-B300-S-L200-T100-C100 실험체는 측면 쪼갬 파괴로 다른 고전단 링앵커에 비해 내력이 낮게 나타났다. R-B300-1-L200-C150 실험체는 예상과 다르게 가장 높은 강도가 발현되었다. 모든 앵커가 거의 동시에 최대 내력을 발현한 후 파괴된 것으로 판단된다.

R-B400-S-L200-T100-C150 실험체는 1차 강도 발현 후 급격히 내력이 감소하였으나, 이후 다시 내력이 증가하여 최대 내력에 도달하였다. 이러한 거동은 다수의 앵커가 전단을 받을 때 발생할 수 있는 전형적인 거동으로, 각 앵커들의 최대 강도 발현시점이 상이하기 때문이다. 그러나 초기에 최대 강도에 이른 앵커가 다른 앵커들이 최대 강도에 도달할 때까지 내력을 유지할 수 있는 것으로 판단된다.

R-B500-2-L400-T200-C150 실험체는 예상과 달리 낮은 하중에서 파괴되었다. 이러한 현상은 강성이 큰 앵커에

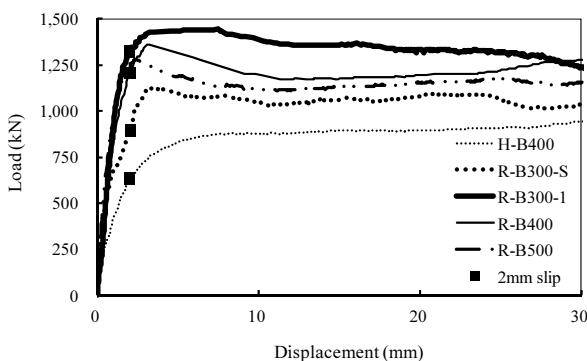


Fig. 10 Load-displacement relationships of push test

서 발생할 수 있는 현상으로 모든 고전단 링앵커가 동시에 내력을 발현한 것이 아니기 때문이다.

기존 구조물의 내진보강에서는 기존 구조물과 보강 구조물 사이의 적은 상대변위에서 충분한 전단력이 전달되어야 기존 구조물의 안전성을 확보할 수 있다. 일본건축방재협회 매뉴얼¹⁴⁾에 따르면 내진보강에 사용되는 전단연결재의 강도는 2 mm의 변위 이내에서 발현된 강도만을 사용하고 있다. Fig. 10에서 2 mm 상대변위 점을 비교해보면 롯데 앵커에 비해 고전단 링앵커의 강도가 매우 높았다.

4.3 다수 고전단 링앵커의 전단강도 평가

Push 실험에서 계측된 실험체별 최대 하중과 식 (5)에 의한 예상 강도를 Table 2에 나타내었다. 단일 롯데 앵커 실험체는 콘크리트 구조기준의 강제 파괴 강도 예측식을 이용하여 평가하였다. 콘크리트 강도와 앵커 롯데 강제 강도는 실제 재료실험 결과를 사용하였다.

Fig. 11에서 실험체별 강도와 예측강도를 비교하였다. 고전단 링앵커가 사용된 4개 실험체에서 평균 98%의 강도가 발현되었다. 3장에서 개발된 평가모델이 다수 고전단 링앵커의 전단강도도 매우 정확히 예측하였다. 또한 5% 분위수의 안전율이 고려된 공칭강도 P_n 예측모델 식 (7)과 비교하면 12% 높게 발현되어 다수 고전단 링앵커가 적용된 경우에도 식 (7)을 활용할 수 있는 것으로 평가된다. 반면에 20개 롯데 앵커가 사용된 실험체는 실제 재료

Table 2 Push test results (unit: kN)

Specimens	V_p	V_e	$V_{e,2mm}$
H-B400-2-L150-T200-C100	1,092	1,028	632
R-B300-S-L200-T100-C100	1,155	1,129	892
R-B300-1-L200-C150	1,418	1,445	1,321
R-B400-S-L200-T100-C150	1,418	1,427	1,154
R-B500-2-L400-T200-C150	1,418	1,280	1,206

*Notation: V_p is a predicted shear strength by Eq. (5) with measured values of concrete and rod, V_e is a measured shear strength, and $V_{e,2mm}$ is a measured load at 2 mm relative displacement.

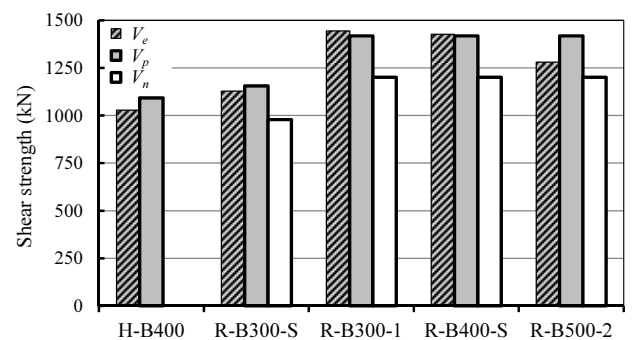


Fig. 11 Comparisons of shear strengths with predictions

강도를 반영한 구조설계기준 강도보다 낮은 강도가 발견되었다.

5. 결 론

롯드 앵커에 강제 링을 추가한 고전단 링앵커의 전단 실험을 바탕으로 강도평가 모델을 개발하였다. 또한 다수의 고전단 링앵커에 대한 Push 실험을 수행하고, 개발된 전단강도 모델과 비교하였다. 연구 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 고전단 링앵커의 전단강도는 콘크리트 압축강도의 3/4 제곱에 비례하여, 강-콘크리트 합성구조에 사용되는 전단연결재와 유사한 강도 특성을 발현하였다.
- 2) 콘크리트 압축강도, 측면연단거리, 롯드 묻힘깊이를 고려한 단일 고전단 링앵커 전단강도 평가 모델을 개발하였다. 22개 실험결과와 비교한 결과 [실험값]/[예측값]의 평균이 1.01 변동계수 7.57%로 나타났다.
- 3) 한 면에 4개씩 총 8개의 고전단 링앵커가 설치된 Push 실험 결과, 단일 고전단 링앵커의 전단실험과 유사하게 측면 연단거리 100 mm에서는 쪼갬파괴가 발생되고, 측면 연단거리 150 mm에서는 쪼갬파괴와 지압파괴가 혼합된 파괴가 발생하였다.
- 4) 쪼갬 파괴가 발생한 경우, 가력방향으로 고전단 링앵커 간격이 측면 연단거리의 4배인 400 mm이면 파괴면이 독립적으로 발생되어, 앵커 사이 간섭이 발생되지 않았다. 지압 파괴가 발생한 경우, 지압파괴의 영향 길이가 150 mm 미만으로 가력방향으로 고전단 링앵커의 간격이 200 mm를 확보하면 앵커 사이 상호 간섭이 발생되지 않았다.
- 5) 다수 고전단 링앵커 Push 실험에 의한 전단강도는 이 연구에서 개발된 예측강도의 평균 98%가 발현되었다. 개발된 전단강도 모델이 다수의 고전단 링앵커의 전단강도 예측에도 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 (주)삼우아이티, (주)청원화학, 대우조선해양건설(주)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. Japan Building Disaster Prevention Association, *Seismic retrofitting design guidelines of the existing reinforced concrete buildings*, Tokyo, 2001.
2. Fujii, T., Sadasue, K., Yokoyama, T., Ishimura, M., and

- Minami, K., "Experimental Study on application of Hybrid Seismic Strengthening Method for Existing RC Structure with Low-Strength Concrete : (Part 1) Test Plan of Indirect Connection Element", *Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan*, 2009, pp. 145-146.
3. Ishimura, M., Sadasue, K., Yokoyama, T., Fujii, T., and Minami, K., "Experimental Study on application of Hybrid Seismic Strengthening Method for Existing RC Structure with Low-Strength Concrete : Part 2 Indirect Connection Element Test", *Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan*, 2009, pp.147-148.
4. Jung, J. S., and Lee, K. S., "A proposal of RCSF External Connection Method for strengthening of existing Medium- and Low-rise R/C Buildings", *AIK Autumn Annual Conference*, Vol.34, No.2, pp.503-504.
5. Korea Concrete Institute, *Concrete Design Code and Commentary*, Kimoondang Publishing Company, Seoul, 2012, p.599.
6. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary", ACI, Farmington Hills, Mich, USA, 2014, p.492.
7. Kikuta, S., Miwa, A., Mukai, K., Hatori, T., Arai, T., Yamauchi, S., Nakahara, M., Satou, N., and Nakai, S., *Development of Seismic Strengthening Method by Seismic Resisting Reinforcement with Steel Tube as Cotter*, Report No.30, Toda Corp., Tokyo, 2008. pp.1-8.
8. Ishioka, T., Kikuta, S., Miwa, A., and Suzuki, S., *Development of Seismic Strengthening Method by Seismic Resisting Reinforcement with Steel Tube as Cotter Part 3 Experimental Study of the Shear Wall with RM units*, Report No. 34, Toda Corp., Tokyo, 2008. pp.1-8.
9. Submitted Korean Patent, Socket shaped anchor, 10-2014-0038192, May 31st, 2014.
10. Chun, S. C., Kim, Y. H., Jeon, S. H., Kim, J. Y., and Oh, M. H., "Evaluation on Shear Strengths of Single High-Shear Ring Anchors", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.31, No.4, 2015, pp.29-38.
11. Korean Society of Steel Construction, *Korean Steel Structure Design Code - Load and Resistance Factored Design*, Korean Society of Steel Construction, Seoul, 2014, p.463.
12. Korea Concrete Institute, *Concrete Design Code*, Kimoondang Publishing Company, Seoul, 2012, pp.153-154, 463-498.
13. Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings, Annex B.2 Tests on shear connectors, 2004, pp.110-112.
14. Japan Building Disaster Prevention Association, *Outside Seismic Retrofitting Manual*, Japan Building Disaster Prevention Association, Tokyo, 2002, p.139.

요약 이 연구에서는 로드 앵커에 강재 링을 추가한 고전단 링앵커의 전단실험을 바탕으로 강도평가 모델을 개발하였다. 고전단 링앵커의 전단강도는 콘크리트 압축강도의 3/4 계수에 비례하여, 강-콘크리트 합성구조에 사용되는 전단연결재와 유사한 강도 특성을 발현하였다. 콘크리트 압축강도, 측면연단거리, 로드 묻힘깊이를 고려한 단일 고전단 링앵커 전단강도 평가 모델을 개발하였다. 22개 실험결과와 비교한 결과 [실험값]/[예측값]의 평균이 1.01 변동계수 7.57%로 나타났다. 한면에 4개씩 총 8개의 고전단 링앵커에 대한 Push 실험을 수행하고, 개발된 전단강도 모델과 비교하였다. 다수의 고전단 링앵커 Push 실험 결과, 단일 고전단 링앵커와 유사하게 측면 연단거리 100 mm에서는 쪼갬파괴가 발생되고, 측면 연단거리 150 mm에서는 쪼갬파괴와 지압파괴가 혼합되어 발생하였다. 쪼갬 파괴가 발생된 경우, 가력방향으로 고전단 링앵커 간격이 측면 연단거리의 4배인 400 mm이면 파괴면이 독립적으로 발생되어, 앵커 사이 간섭이 발생되지 않았다. 지압 파괴가 발생된 경우, 지압파괴의 영향 길이가 150 mm 미만으로 가력방향으로 고전단 링앵커의 간격이 200 mm를 확보하면 앵커 사이 상호 간섭이 발생되지 않았다. 다수 고전단 링앵커 Push 실험에 의한 전단강도는 이 연구에서 개발된 예측강도의 평균 98%가 발현되었다. 개발된 전단강도 모델이 다수의 고전단 링앵커의 전단강도 예측에도 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 앵커, 전단, 쪼갬 파괴, 지압 파괴, Push 실험