

## 후설치 콘크리트 세트앵커의 인발파괴거동에 관한 실험적 연구

### An Experimental Study on the Pullout Failure Behavior of Post-installed Concrete Set Anchor

숫 러 타<sup>1)</sup>

Ratha Suth

유 승 운<sup>2)\*</sup>

Seung-Woon Yoo

#### Abstract

Recently the use of concrete post-installed set anchors has been increasing because this constructing method is flexible and easy to attach or fix structural members when we repair, reinforce, or remodel structures. Accordingly, designers and builders of Korea depend on foreign design codes since there are no exact domestic anchor design codes that they could credit. The anchor in plain concrete loaded in tensile exhibits various failure modes such as concrete breakout, splitting, steel failure, pull-out and side-face blowout, that depending on the tensile strength of the steel, the strength of concrete, embedment depth, interval, the edge distance and the presence of adjacent anchor. The objective is to investigate the effects of the variations like anchor embedment depth, interval and edge distance on pull-out fracture behavior of post-installed concrete set anchor embedded in plain concrete.

Keywords : Anchor interval, Edge distance, Embedment depth, Post-installed concrete anchor, Pullout failure, Set anchor

#### 1. 서론

콘크리트 앵커는 기존 콘크리트구조물을 보강하거나, 증축하는 경우 또는 중량물 혹은 철골구조물 등을 고정시키는데, 건설구조물의 철골기둥, 터빈 제너레이터 기기 등을 콘크리트 구조물에 부착시키기 위해 널리 쓰인다. 1990년대 들어서, 우리나라에서 사회간접자본 시설의 유지관리 및 보수, 보강, 재건축, 리모델링이 증가하는 추세에 따라 앵커의 사용량이 크게 증가하고 있는 실정이나 국내에서는 아직도 비싼 수입품에 많이 의존하고 있다 (Hwang, 2011). 국내산 앵커가 외국산에 비해 그 성능이 동등하거나 우수하다면, 현재 국내 현장에서 거의 전량 외국산을 수입하여 사용되는 앵커를 국내산으로 대체하여 사용하게 됨으로써 외화낭비를 방지할 수 있을 뿐만 아니라 비용절감에도 큰 효과가 있어 그 파급효과가 매우 클 것으로 사료된다. 부착물에 가해지는 하중은 마찰력, 기계적 잠금장치, 부착 또는 이들의 복합요소에 의해 앵커로 전달되며 다시 앵커를 통해 콘크리트 구조물

로 전달된다. 앵커는 선설치 앵커 (cast-in-place anchor)와 후설치 앵커 (post-installed anchor)로 크게 두 가지로 분류할 수 있다.

국외의 연구동향으로는 미국과 유럽에서 1980년대부터 앵커에 대한 많은 시험이 수행되었다. 1990년도 초반에는 카파 방법이 좀 더 개선되어 텍사스 오스틴대학에서 좀 더 사용자 편의 위주로 만들어졌다. 이러한 노력들이 CCD (concrete capacity design) (Werner et al., 1995)방법으로 이어졌으며 같은 기간 동안 실험 결과에 대한 국제적인 데이터베이스도 구축되었다. 1990년대 중반 동안 ACI 349와 ACI 355 위원회의 주요한 활동은 CCD방법과 45°원추방법을 이 데이터베이스를 이용하여 평가하는 것이었다. 이러한 평가 결과 ACI 318, 349 및 355는 CCD방법을 적용하는 쪽으로 진행하였다. ACI 318-08 부록 D와 ACI 349-01 부록 B의 설계 규정은 CCD방법에 기초하고 있다 (KCI, 2010).

국내에서는 비균열 무근콘크리트에 매입된 앵커의 전단내력 (Kim and Kim, 2003), 인장하중을 받는 중대형급 선설치

1) 정회원, 관동대학교 토목공학과 석사과정

2) 정회원, 관동대학교 토목공학과 교수, 교신저자

\* Corresponding author : swyoo@kd.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2014년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2014년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

앵커볼트의 콘크리트파괴강도 평가를 위한 연구 (Park et al., 2011), 부착식 후설치 앵커로 연결된 내민보의 구조안정성에 대한 실험적 평가 (Oh and Park, 2011), 부착식 앵커의 인발 특성에 관한 실험적 연구 (Yoon et al., 2006), 콘크리트 매입 후설치 앵커의 인장 및 전단실험방법 (Lee et al., 2009), 수치해석에 의한 직매형 앵커기초의 인장설계기준 평가 (Jang and Suh, 2005), 콘크리트 앵커 및 정착, 이음장치, 현황 (Choi and Kim, 2005)과 같은 연구가 이루어졌다.

본 연구는 콘크리트 세트앵커의 매입깊이, 앵커간격, 연단거리 등을 변수로 한 후설치 콘크리트 세트앵커의 인발파괴 실험을 통하여 무근콘크리트에 매입된 후설치 세트앵커의 인발거동에 미치는 영향을 규명하는 것을 그 목적으로 한다.

## 2. 실험개요

### 2.1 실험시편 설계 및 제작

본 실험시편은 앵커의 기본형 실험체에 따라서 계획되었다. 미국의 ACI 349 설계기준에서는 앵커가 최대내력을 발휘하기 위하여 요구되는 연단거리를  $1h_{ef}$ 로 가정하고 있으며, 독일 등 유럽에서 제시하고 있는 CCD 설계방법에서는  $1.5h_{ef}$  가정하고 있다. 앵커가 최대내력을 발휘하기 위하여 요구되는 앵커 간격은 ACI 349 설계기준에서는  $2h_{ef}$ 이며, CCD 설계방법에서는  $3h_{ef}$ 으로 가정하고 있다.

본 실험은 후설치 콘크리트 세트앵커시스템에 대한 부분적 실험으로서 직경 16mm 국내산 세트앵커 (set anchor)를 사용하여 설계기준 압축강도 30MPa 콘크리트의 블록에서 인발실험을 수행하였다. Table 1은 실험체 일람표이며, 실험체 명명법은 다음과 같다.

T16-xx-yy-zz-a, 여기서 xx는 세트앵커의 매입깊이, yy는

앵커의 간격거리, zz는 콘크리트 면의 연단거리를 나타내며, a는 실험 개수이다.

### 2.2 실험방법

본 실험에서 앵커 매입깊이 변수는 4가지 경우로 실험하였으며 앵커 직경의 10배인 160mm, 8배인 128mm, 6배인 96mm, 4배인 64mm 이다. 앵커 간격 및 연단거리는 동일하게 매입깊이의 2배 256mm, 1배 128mm, 0.5배 64mm이다. 직육면체의 콘크리트 앵커 실험체를 거푸집 (2.6m×2.0m×0.4m)을 이용하여 타설하였다. 배합조건으로는 일반적으로 사용되는 조건을 적용하기 위하여 설계기준 압축강도를 30MPa로 계획하였으며, 실제 측정된 28일 압축강도는 28.4MPa이었다. 물결합재비 (W/B)는 39%를 사용하였고, 앵커본체는 SS 400 탄소강을 사용하였으며, 직경 21.5mm 드릴비트를 사용하여 앵커 구멍을 천공하였다 (Fig. 1).

실험은 특수 제작된 지그 (jig)를 활용하여 앵커 상단을 지그 하부와 연결시키고, 지그의 상부는 다시 강봉을 이용하여 인장기와 연결하였다. 앵커의 가력방법은 반력판과 인장기 사이에 로드셀 (load cell)을 설치한 후 하이드로릭 펌프 (hydraulic hand pump)를 이용하여 재하하였으며, 앵커 뺨힘량을 측정하기 위해 100mm LVDT를 2곳에 부착하여 콘크리트 표면으로부터 인발량을 데이터로거를 이용하여 측정하였다 (Fig. 2).



Fig. 1 Test Bed for Experiment

Table 1 List of Experiment

Name of experiments	No. of experiments	Embedment depth (mm)	Anchor interval (mm)	Edge distance (mm)	Concrete strength (MPa)
T16-10-20-20-a	2	160	-	-	30
T16-08-20-20-a	2	128	-	-	30
T16-06-20-20-a	2	96	-	-	30
T16-04-20-20-a	2	64	-	-	30
T16-08-10-20-a	2	128	128	-	30
T16-08-05-20-a	2	128	64	-	30
T16-08-20-10-a	2	128	-	128	30
T16-08-20-05-a	2	128	-	64	30

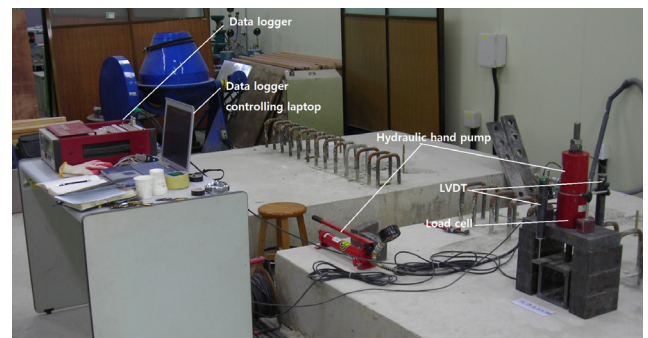


Fig. 2 Panorama of Experiment

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 세트앵커의 매입깊이에 따른 실험 및 분석

세트앵커의 매입깊이 영향을 분석하기 위하여 변수로는 4가지 경우로 선정하였으며 앵커직경의 10, 8, 6, 4배의 깊이로 실험하였다.

세트앵커 매입깊이가 앵커직경의 10배 실험의 경우 실험 전 상부에 돌출된 앵커 높이가 92mm이고 실험 후 앵커 높이가 151mm로 총 59mm 뺏혀 올라갔다. 타격전 슬리브 깊이가 85mm였고 타격후 91mm로 총 6mm 내려갔다. 실험 후 슬리브 깊이가 81mm로 총 10mm 뺏혀 올라갔다. 최대 인발 하중이 70.00kN였으며 이 때 변위가 10.93mm이고 인발 하중이 70.00kN에서 감소하였으며 다시 68.88kN까지 증가하였고 이 때 변위가 45.75mm였다. 뺏힘 파괴가 발생하였지만 균열이 발생하지 않고 앵커도 완전히 뺏히지 않았으며, 최대 인발 하중은 70.00kN 변위는 10.93mm로 나타났다.

두 번째 실험의 경우는 실험 전 상부에 돌출된 앵커 높이가 90mm이고 실험 후 앵커 높이가 148mm로 총 58mm 뺏혀 올라갔다. 타격전에 슬리브 깊이가 86mm였고 타격 후 93mm로 총 7mm 내려갔다. 실험 후 슬리브 깊이가 80mm로 총 13mm 뺏혀 올라갔다. 최대 인발 하중이 76.72kN이었으며 이 때 변위가 10.33mm이고 인발 하중이 76.72kN에서 감소하였으며 다시 77.00kN까지 증가하였고 이 때 변위가 42.19mm였다. 뺏힘 파괴가 발생하였지만 균열이 발생하지 않고 앵커도 완전히 뺏히지 않았으며, 최대 인발 하중은 76.72kN 변위는 10.33mm로 나타났다.

Fig. 3은 T16-10-20-2-a 실험체의 실험 (1), 실험 (2)의 결과를 비교 분석하여 곡선으로 낸 것이다. 하중-변위 곡선이 비슷하게 나타났지만 실험 (2)는 실험 (1) 보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뺏히는 결과를 보였다

며 최대하중이 더 크게 나타났다.

매입깊이가 앵커직경은 8배인 경우 실험 전 상부에 돌출된 앵커 높이가 71mm이고 실험 후 앵커 높이가 130mm로 총 59mm 뺏혀 올라갔다. 타격전 슬리브 깊이가 57mm였고 타격 후 63mm로 총 6mm 내려갔다. 실험 후 슬리브 깊이가 54mm로 총 9mm 뺏혀 올라갔으며 최대 인발 하중이 73.08kN일 때 변위 15.89mm였다. 인발 하중 73.08kN에서 하중이 서서히 감소하였으며 다시 75.32kN까지 증가하였고 이 때 변위 47.90mm였다. 뺏힘 파괴가 발생하였지만 균열이 발생하지 않고 앵커도 완전히 뺏히지 않았으며, 최대 인발 하중은 73.08kN, 변위는 15.89mm로 나타났다.

두 번째 실험은 실험 전 상부에 돌출된 앵커 높이가 71mm이고 실험 후 앵커 높이가 131mm로 총 60mm 뺏혀 올라갔다. 타격전 슬리브 깊이가 57mm였고 타격 후 63mm로 총 6mm 내려갔다. 실험 후 슬리브 깊이가 58mm로 총 5mm 뺏혀 올라갔다. 인발 하중 24.64kN 경과 변위 0.92mm일 때 앵커 본체가 슬리브 내부로 슬립현상이 발생한 것으로 추정된다. 최대 인발 하중이 59.36kN일 때 변위 16.98mm였다.

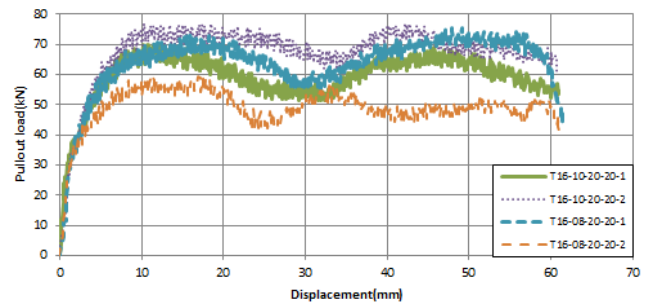


Fig. 3 Pullout Load-Displacement Curve for Parameter of Embedment Depth-1/2

Table 2 Result of Embedment Depth Parameter

Name of experiments	Pullout load (kN)	Displacement (mm)	Failure mode
T16-10-20-20-1	70.00	10.93	Pullout
T16-10-20-20-2	76.72	10.33	Pullout
T16-08-20-20-1	73.08	15.89	Pullout
T16-08-20-20-2	59.36	16.98	Pullout
T16-06-20-20-1	63.00	10.36	Pullout+concrete
T16-06-20-20-2	56.00	11.79	Pullout+concrete
T16-04-20-20-1	39.76	3.40	Pullout+concrete
T16-04-20-20-2	50.96	4.00	Pullout+concrete



Fig. 4 Failure Mode for Embedment Depth

인발 하중 59.36kN에서 하중이 감소하였으며 이 후 하중이 56.28kN까지 증가하였고 이 때 변위 32.99mm였다. 뽑힘 파괴가 발생하였지만 균열이 발생하지 않고 앵커도 완전히 뽑히지 않았으며, 인발 하중은 59.36kN, 최대 변위는 16.98mm로 나타났다.

T16-08-20-20-a 실험체의 실험 (1), 실험 (2)의 하중-인발 변위량 곡선은 Fig. 3과 같다. 실험 (1)은 실험 (2) 보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑히는 결과를 보였으며 최대하중이 약 19% 더 크게 나타났다.

매입깊이가 06인 경우 실험 전 상부에 돌출된 앵커 높이가 102mm이고 실험 후 앵커 높이가 160mm로 총 58mm 뽑혀 올라갔다. 타격전 슬리브 깊이가 25mm였고 타격 후 34mm로 총 9mm 내려갔다. 실험 후 슬리브 깊이가 24mm로 총 10mm 뽑혀 올라갔으며 하중 13.44kN 경과 변위 0.48mm일 때 앵커 본체가 슬리브 내부로 슬립현상이 일어났으며 이 현상은 인발 하중 25.48kN 경과 변위 1.16mm까지 발생하였다. 인발 하중 63.00kN까지 증가하며 변위 10.36mm였다. 인발 하중이 63.00kN부터 감소하였으며 이 후 54.88kN까지 증가하였고 이 때 변위 37.24mm이었다. 인발 하중 40.88kN 경과 변위 42.70mm일 때 콘크리트에서 균열이 발생하는 듯한 소리가 들렸지만 시각적으로 균열을 관찰하지는 못하였다. 인발 하중 37.24kN 경과 변위 44.58mm일 때 매입된 앵커 구멍에서 아래쪽과 우측으로 균열이 발생하는 것을 관찰하였다. 인발 하중 31.36kN 경과 변위 47.56mm일 때 콘크리트에서 균열이 발생하는 소리가 크게 들렸으며 실험체 앞부분에 균열이 발생하는 것을 관찰하였다. 인발 하중 22.68kN 경과 변위 54.52mm 매입된 앵커 구멍에서 위쪽과 좌측으로 균열이 발생하는 것을 관찰하였다. 뽑힘 및 콘크리트 파괴가 발생하면서 균열이 발생하였지만 앵커 완전히 뽑히지 않았고, 최대 인발 하중은 63.00kN, 변위 10.36mm로 나타났다.

두 번째 실험은 실험 전 상부에 돌출된 앵커 높이가 102mm이고 실험 후 앵커 높이가 160mm로 총 58mm 뽑혀 올라갔다. 타격 전 슬리브 깊이가 25mm였고 타격 후 33mm로 총 8mm 내려갔다. 실험 후 슬리브 깊이가 25mm로 총 8mm 뽑혀 올라갔으며 인발 하중 22.68kN 경과 변위 0.99mm 앵커 본체가 슬리브 내부로 삽입 되는 현상이 발생한 것으로 추정된다. 이 현상은 인발 하중 49.00kN 경과 변위 6.37mm까지 발생하였다. 인발 하중 56.00kN까지 증가하며 변위 11.39mm였다. 하중 56.00kN부터 감소하였으며 이 후 62.16kN까지 증가하였고 이 때 변위 36.30mm였다. 인발 하중 47.88kN 경과 변위 43.45mm일 때 콘크리트에서 균열이 발생하는 듯한

소리가 들렸으며 동시에 매입된 앵커 구멍에서 위쪽으로 발생하는 균열을 관찰하였다. 인발 하중 37.52kN 경과 변위 47.19mm일 때 콘크리트에서 균열이 발생하는 듯한 소리가 커졌으며 실험체 뒷부분으로 발생하는 균열을 관찰하였다. 인발 하중 42.00kN 경과 변위 50.28mm일 때 앵커 구멍에서 우측과 실험체 앞부분으로 발생하는 균열을 관찰하였다. 뽑힘 및 콘크리트 파괴가 발생하면서 균열이 발생하였지만 앵커 완전히 뽑히지 않았고 최대 인발 하중은 56.00kN, 변위 11.79mm로 나타났다.

Fig. 5는 T16-06-20-20-a 실험체의 실험 (1), 실험 (2)의 결과를 비교 분석하여 곡선으로 낸 것이다. 실험 (1)은 실험 (2) 보다 균열이 빨리 발생하였지만 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑히는 결과를 보였으며 최대하중도 더 크게 나타났다. 실험 (2)는 변위 43.45mm일 때 균열이 발생하면서 하중이 감소하기 시작하였다.

매입깊이가 04인 경우 최대 하중이 39.76kN이었으며 이 때 변위가 3.40mm였다. 인발 하중 29.68kN 경과 변위 11.99mm일 매입된 앵커 구멍 위쪽으로 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 인발 하중 23.80kN 경과 변위 19.07mm일 때 콘크리트에서 균열이 발생하는 듯한 소리가 들렸으며 동시에 앵커 구멍 우측과 실험체 앞부분에 균열이 관찰 되었고 하중이 급격하게 감소하였다. 인발 하중 0.28kN 경과 변위 21.33mm일 때 앵커가 완전히 뽑혔고 하중을 더 이상 받지 않았으며 콘크리트의 균열이 발생한 부분이 들리는 것을 관찰하였다. 뽑힘 및 콘크리트 파괴가 발생하면서 균열이 발생하였고 앵커도 완전히 뽑혔다. 최대 인발 하중은 39.76kN, 최대 변위는 3.40mm로 나타났다.

두 번째 실험은 인발 하중 20.72kN 경과 변위 1.04mm일 때 앵커 본체가 슬리브 내부로 삽입되는 현상이 발생한 것으로 추정된다. 최대 인발 하중이 50.96kN이었으며 이 때 변위가 4.00mm였다. 이 후 인발 하중 38.08kN 경과 변위 9.06mm일

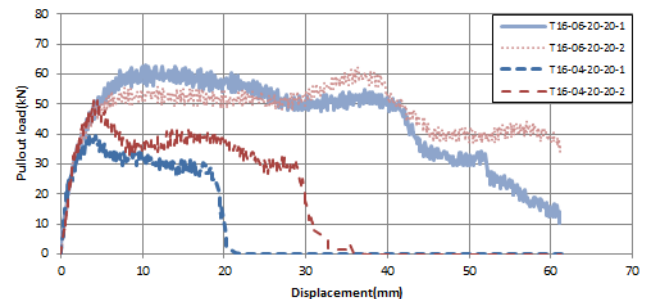


Fig. 5 Pullout Load-Displacement Curve for Parameter of Embedment Depth-2/2

때 콘크리트에서 균열이 발생하는 소리가 들렸으나 외관상 균열은 발견되지 않았다. 인발 하중 36.96kN 경과 변위 12.68mm일 때 매입된 앵커 구멍 우측 위쪽으로 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 인발 하중 50.96kN에서 감소하였으며 다시 41.16kN까지 증가하였고 이 때 변위가 13.65mm였다. 인발 하중 27.72kN 경과 변위 27.28mm일 때 매입된 앵커 구멍 좌측 아래쪽으로 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 인발 하중 19.88kN 경과 변위 29.86mm일 때 콘크리트에서 소리가 들렸으며 앵커 구멍 아래쪽과 실험체 앞부분에 균열이 관찰 되었고 하중이 급격하게 감소하였다. 인발 하중 0.28kN 경과 변위 35.81mm일 때 앵커가 완전히 뽑혔고 하중을 더 이상 받지 않았으며 콘크리트의 균열이 발생한 부분이 들리는 것을 관찰하였다. 뽑힘 및 콘크리트 파괴가 발생하면서 균열이 발생하였고 앵커도 완전히 뽑혔으며 슬리브가 보였다. 최대 인발 하중은 50.96kN, 변위 4.00mm로 나타났다.

T16-04-20-20-a 실험체의 실험 (1), 실험 (2)의 인발하중-뽑힘량 곡선은 Fig. 5와 같다. 2개의 실험 모두 뽑힘 및 콘크리트 파괴가 발생하면서 균열이 발생하였고 앵커도 완전히 뽑혔다. 실험 (2)는 콘크리트 외부에 균열이 빨리 발생하며 최대하중이 가장 낮게 나타났다. 실험 (1)은 변위 21.33mm 일 때 앵커가 완전히 뽑혔고 하중을 더 이상 받지 않았으며 콘크리트의 균열이 발생한 부분이 들리는 것을 관찰하였다. 실험 (2) 인발 하중 19.88kN 경과 변위 29.86mm일 때 콘크리트에서 소리가 들렸으며 앵커 구멍 아래쪽과 실험체 앞부분에 균열이 관찰 되었고 하중이 급격하게 감소하였다. 실험 (2)는 실험 (1)보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑히는 결과를 보였으며 최대하중도 더 크게 나타났다.

### 3.2 세트앵커의 앵커 간격에 따른 실험 및 분석

세트앵커의 앵커 간격의 영향을 분석하기 위해 변수로 3가지 경우를 선정하였으며, 매입깊이의 2.0, 1.0, 0.5배의 간격으로 실험하였다.

세트앵커의 앵커 간격이 1.0배인 경우 실험 전 상부에 돌출된 앵커 높이가 72mm이고 실험 후 앵커 높이가 131mm로 총 59mm 뽑혀 올라갔다. 인발 하중 54.04kN 경과 변위 16.30mm일 때 앵커 본체가 슬리브 내부로 삽입되며, 최대 인발 하중은 55.72kN, 변위 18.49mm였다. 인발 하중 47.32kN, 변위 27.90mm일 때 슬리브와 앵커 본체가 같이 뽑혀 올라오는 현상이 발생했다. 인발 하중 25.76kN 경과 변위 61.15mm 일 때 실험 정지와 동시에 실험중인 앵커 구멍에서 길이 64mm

균열이 발생한 것을 관찰되었다. 뽑힘 파괴가 발생하면서 균열이 조금 발생하였고 앵커는 완전히 뽑히지 않았다. 최대 인발 하중은 55.72kN, 변위 18.49mm로 나타났다.

같은 종류 두 번째 실험은 실험 전 상부에 돌출된 앵커 높이가 71mm이고 실험 후 앵커 높이가 131mm로 총 60mm 뽑혀 올라갔다. 인발 하중 10.64kN, 변위 0.32m일 때 앵커 본체가 슬리브 내부로 삽입되는 현상이 발생했으며, 인발 하중 37.52kN, 변위 2.57mm일 때까지 계속 진행됐다. 최대 인발 하중 67.20kN, 변위 17.83mm였다. 인발 하중 58.24kN, 변위 39.41mm일 때는 슬리브와 앵커 본체가 같이 뽑혀 올라오는 현상이 발생한 것으로 추정된다. 뽑힘 파괴가 발생하면서 균열이 발생하지 않았고 앵커도 완전히 뽑히지 않았으며 슬리브도 관찰되지 않았다. 최대 인발 하중은 67.20kN, 변위 17.83mm로 나타났다.

Fig. 6은 T16-08-10-20-a 실험체의 실험 (1), 실험 (2)의 결과를 비교 분석하여 곡선으로 낸 것이다. 실험 (1)은 앵커 구멍에서 길이 64mm 균열이 발생하였다. 실험 (2)는 실험 (1)보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뽑히는 결과를 보였으며 최대하중도 더 크게 나타났다.

앵커 간격이 0.5배인 경우 실험 전 상부에 돌출된 앵커 높이가 71mm이고 실험 후 앵커 높이가 133mm로 총 62mm 뽑혀 올라갔다. 인발 하중 21.56kN, 변위 7.36mm일 때는 앵

Table 3 Result of Anchor Interval Parameter

Name of experiments	Pullout load (kN)	Displacement (mm)	Failure mode
T16-08-20-20-1	73.08	15.89	Pullout
T16-08-20-20-2	59.36	16.98	Pullout
T16-08-10-20-1	55.72	18.49	Pullout+micro crack
T16-08-10-20-2	67.20	17.83	Pullout
T16-08-05-20-1	59.92	19.04	Pullout
T16-08-05-20-2	48.72	15.58	Pullout

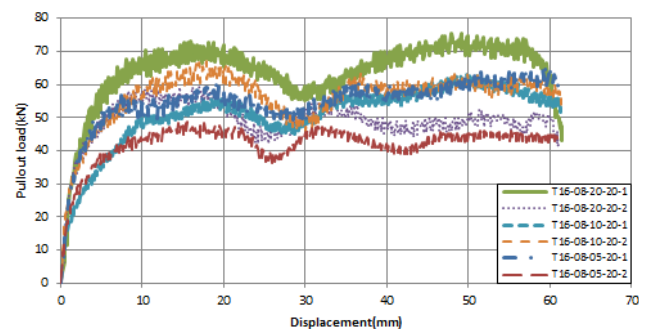


Fig. 6 Pullout Load-Displacement Curve for Parameter of Anchor Interval

커 본체가 슬리브 내부로 삽입되는 현상이 발생했다. 최대 인발 하중 59.92kN, 변위 19.04mm였으며 이 후 인발 하중이 감소하였다. 하중이 다시 증가하였으며 인발하중은 61.04kN 까지 증가하였으며 이 때 변위 36.43mm였고 인발 하중이 계속 유지 되면서 다시 증가하였다. 인발 하중 65.52kN까지 증가하였고 이 때 변위 59.46mm였다. 뿔힘 파괴가 발생하면서 균열이 발생 하지 않았고 앵커가 완전히 뽑히지 않았으며 슬리브도 보이지 않았다. 최대 인발하중은 59.92kN, 변위 19.04mm로 나타났다.

두 번째 실험은 실험 전 상부에 돌출된 앵커 높이가 70mm 이고 실험 후 앵커 높이가 130mm로 총 60mm 뿔혀 올라갔다. 최대 인발 하중 48.72kN, 변위 15.58mm였으며 이후 하중이 감소하였다. 하중이 다시 33.04kN까지 증가하였고 이 때 변위 31.50mm였다. 뿔힘 파괴가 발생하였으며 균열이 발생 하지 않았고 앵커가 완전히 뽑히지 않았으며 슬리브도 보이지 않았다. 최대 인발 하중은 48.72kN, 변위 15.58mm로 나타났다.

T16-08-05-20-a 실험체의 실험 (1), 실험 (2)의 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 두 실험 모두 뿔힘 파괴가 발생하였지만 균열이 발생 하지 않았고 앵커가 완전히 뽑히지 않았다. 실험 (1)은 실험 (2) 보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뿔히는 결과를 보였으며 최대하중도 크게 나타났다.

### 3.3 세트앵커의 연단거리에 따른 실험 및 분석

세트앵커의 연단거리 영향을 분석하기 위해 변수로 3가지 경우를 선정하였으며, 매입깊이의 2.0, 1.0, 0.5배의 연단거리에 대해 실험하였다.

세트앵커의 연단거리가 1.0배인 경우 인발 하중 30.24kN 경과 변위 1.44mm일 때 앵커 본체가 슬리브 내부로 삽입되며, 최대 인발하중은 58.80kN, 변위 10.10mm였다. 인발 하중 54.04kN, 변위 20.86mm일 때 슬리브와 앵커 본체가 같이 뿔혀 올라오는 현상이 발생했다. 인발 하중 68.04kN, 변위 44.55mm일 때 평면 연단 끝에서 측면 쪽으로 세로 방향의 균열이 발생하는 것을 관찰하였다. 인발 하중 60.76kN, 변위 57.04mm일 때 기존의 균열이 아래 방향으로 길어진 것을 관찰하였으며 동시에 매입된 앵커 구멍 좌, 우측으로 발생하는 균열을 관찰하였다. 뿔힘 파괴가 발생하였고 균열이 발생하였다. 최대 인발 하중은 58.80kN, 변위 10.10mm로 나타났다.

두 번째 실험은 실험 전 상부에 돌출된 앵커 높이가 70mm 이고 실험 후 앵커 높이가 130mm로 총 60mm 뿔혀 올라갔다. 최대 인발 하중 67.76kN, 변위 18.12mm였다. 인발 하중 63.56kN 경과 변위 21.42mm일 때 측면 중앙 위쪽에 세로방향으로 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 인발 하중 58.52kN 경과 변위 38.49mm일 때 측면에 기존 균열이 아래쪽으로 길어진 것을 관찰하였다. 인발 하중 54.60kN, 변위 44.61mm일 때 측면에 처음 발생하였던 균열이 평면 쪽으로 이어진 것을 관찰하였다. 인발 하중 51.80kN, 변위 53.82mm일 때 평면에 기존 균열이 매입된 앵커 구멍 아래쪽으로 이어진 것을 관찰하였다. 뿔힘 파괴가 발생하였으며 균열이 발생하였지만 균열이 크지 않고 앵커도 완전히 뽑히지 않았다. 최대 인발 하중은 67.76kN, 변위 18.12mm로 나타났다.

Fig. 7은 T16-08-20-10-a 실험체의 실험 (1), 실험 (2)의 결과를 비교 분석하여 곡선으로 낸 것이다. 실험 (2)는 균열이 빨리 발생하였지만 실험 (1) 보다 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뿔히는 결과를 보였으며 최대하중도 더 크게 나타났다. 실험 (1)은 앵커가 뿔혀 올라오다가 다시 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뿔혀 올라오면서 하중이 다시 높게 증가하면서 균열이 발생하였다.

연단거리가 0.5배인 경우 실험 전 상부에 돌출된 앵커 높

Table 4 Result of Edge Distance Parameter

Name of experiments	Pullout load (kN)	Displacement (mm)	Failure mode
T16-08-20-20-1	73.08	15.89	Pullout
T16-08-20-20-2	59.36	16.98	Pullout
T16-08-20-10-1	58.80	10.10	Pullout+micro crack
T16-08-20-10-2	67.76	18.12	Pullout+micro crack
T16-08-20-05-1	57.40	7.97	Pullout+splitting+SB
T16-08-20-05-2	57.12	11.08	Pullout+splitting+SB

\*SB: Side-face blowout

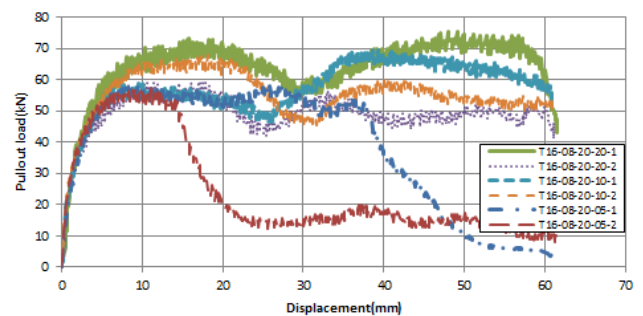


Fig. 7 Pullout Load-Displacement Curve for Parameter of Edge Distance

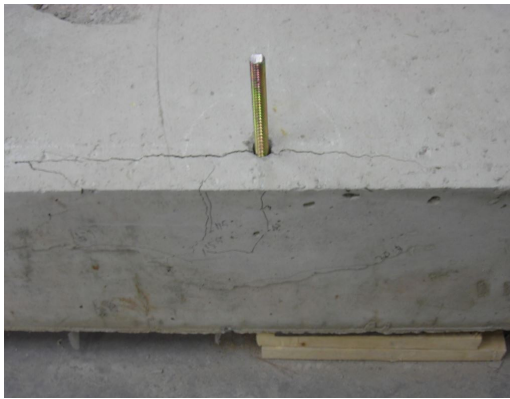


Fig. 8 Failure Mode for Edge Distance

이가 70mm이고 실험 후 앵커 높이가 131mm로 총 61mm 뿔혀 올라갔다. 인발 하중 44.24kN, 변위 3.43mm일 때 측면 중앙에 세로 방향으로 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 최대 인발 하중 57.40kN, 변위 7.97mm였다. 인발 하중 53.20kN과 변위 20.07mm일 때 슬리브와 앵커 본체가 같이 뿔혀 올라오는 현상이 발생 했다. 인발 하중 56.84kN 경과 변위 24.56mm일 때 앵커 아래쪽에서 세로 방향으로 균열이 발생한 것이 관찰되었다. 인발 하중 31.36kN 경과 변위 41.17mm일 때 측면에 발생하였던 균열 아래쪽에 가로방향으로 균열이 크게 발생한 것이 관찰되었다. 인발 하중 10.64kN 경과 변위 49.95mm일 때 매입된 앵커 구멍에서 양 옆으로 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 인발 하중 6.16kN, 변위 55.38mm일 때 좌측 가압판 바깥쪽으로 평면과 측면에 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 뿔힘 파괴가 발생하였고 균열이 많이 발생하였지만 앵커가 완전히 뿔히지 않았으며, 최대 인발 하중은 57.40kN, 변위 7.97mm로 나타났다.

두 번째 실험은 실험 전 상부에 돌출된 앵커 높이가 68mm이고 실험 후 앵커 높이가 130mm로 총 62mm 뿔혀 올라갔다. 인발 하중 43.20kN 경과 변위 2.78mm일 때 콘크리트 측면에 세로 방향으로 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 최대 인발 하중 57.12kN, 변위 11.08mm였다. 인발 하중 29.12kN 경과 변위 17.28mm일 때 좌측 가압판 측면에 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 인발 하중 24.36kN 경과 변위 18.16mm일 때 콘크리트에서 균열이 발생하는 소리가 들렸으며 동시에 좌측 가압판 바깥쪽으로 측면에 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 인발 하중 24.36kN 경과 변위 18.16mm일 때 콘크리트에서 균열이 발생하는 소리가 들렸으며 동시에 좌측 가압판 바깥쪽으로 측면에 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 인발 하중 20.16kN 변위 20.11mm일 때 측면 중앙에 가로 방향으

로 균열이 크게 발생한 것을 관찰하였다. 인발 하중 15.40kN 경과 변위 23.59mm일 때 매입된 앵커 구멍 좌측 대각선 아래 쪽으로 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 인발 하중 14.56kN, 변위 26.03mm일 때 매입된 앵커 구멍에서 좌, 우측으로 균열이 발생한 것을 관찰하였으며 좌측 균열은 가압판 바깥쪽 까지 이어진 것을 관찰하였다. 뿔힘 파괴가 발생하였으며 균열이 많이 발생하였지만 앵커가 완전히 뿔히지 않았고 슬리브도 관찰되지 않았다. 최대 인발 하중은 57.12kN, 변위 11.08mm로 나타났다.

T16-08-20-05-a 실험체의 실험 (1), 실험 (2)의 결과는 Fig. 7과 같다. 실험 (2)는 실험 (1) 보다 균열이 빨리 발생했으며 변위 2.78mm일 때 콘크리트 측면에 세로 방향으로 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 변위 17.28mm일 때 좌측 가압판 측면에 균열이 발생한 것을 관찰하였고 이후 하중이 급격하게 감소하였다. 실험 (1)은 변위 3.43mm일 때 측면 중앙에 세로 방향으로 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 앵커, 슬리브가 콘크리트와 잘 부착 되어 함께 뿔혀 올라오면서 변위 41.17mm일 때 측면에 발생하였던 균열 아래쪽에 가로방향으로 균열이 더 크게 발생한 것을 관찰하였으며 하중이 급격하게 감소하였다.

#### 4. 결론

본 연구는 후설치 콘크리트 앵커의 일종으로 가장 경제적인 앵커로 알려져 있는 세트앵커의 인발파괴 거동에 미치는 변수의 영향을 분석하기 위해 실험을 하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

세트앵커의 매입깊이에 따른 영향은 매입깊이 변수 10배인 경우 최대 인발 하중이 73.36kN이며 8배의 최대 인발 하중은 66.22kN이다. 비교해 보았을 때 약 9.73% 정도의 차이를 보였다. 매입깊이 변수 6배의 최대 인발 하중이 59.50kN이며 10배의 경우와 비교하면 약 18.89% 정도의 차이를 보였고, 매입깊이 변수 6배에서는 균열이 발생하였다. 매입깊이 변수 4배의 최대 인발 하중은 45.36kN이며, 10배의 경우와 비교하면 약 38.17% 정도의 차이를 보였다.

후설치 세트앵커의 앵커간격 및 연단거리에 따른 영향은 앵커 간격 변수 2배인 경우 최대 인발 하중이 66.22kN일 때 1배의 최대 인발 하중은 61.47kN이며, 이를 비교해 보았을 때 약 7.17% 정도의 차이를 보였다. 앵커 간격 변수 0.5배의 최대 인발 하중이 54.32kN이며 2배의 경우와 비교해 보았을 때 약 17.97% 정도의 차이를 보였다. 앵커 연단 거리 변수 2

배인 경우 최대 인발 하중이 66.22kN이며 1배의 최대 인발 하중은 63.28kN이다. 비교해 보았을 때 약 4.44% 정도의 차이를 보였다. 연단 거리 변수 0.5배의 최대 인발 하중이 57.26kN이며, 2배의 경우와 비교해 보았을 때 약 13.53% 정도의 차이를 보였지만 연단 거리 변수 1배보다 균열이 많이 발생하였으며 최대 인발 하중 때의 변위는 다소 작게 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동 기술개발사업 (No. C0024137)의 연구수행으로 인한 결과물이며 이에 감사드립니다.

#### References

1. Choi, D. U., and Kil, H. K. (2005), State-of-the-Art on Anchoring to Concrete, Mechanical Anchorage and Splices of Reinforcement, Magazine of the Korea Concrete Institute, 17(5), 16-20 (in Korean).
2. Hwang, Y. S. (2011), A Study on the Fracture Resistance Characteristics of Post-Installed Anchor, Seoul National University of Science and Technology (in Korean).
3. Jang, J. B., and Suh, Y. P. (2005), An Evaluation of Tensile Design Criteria of Cast-In-Place Anchor by Numerical Analysis, Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea, 18(3), 303-309 (in Korean).
4. Kim, S. Y., and Kim, K. S. (2003), Shear Strength of

Anchors installed in Uncracked and Unreinforced Concrete, Conference of Architectural Institute of Korea, 19(9), 69-78 (in Korean).

5. Korea Concrete Institute (2010), Design Method for Concrete Anchors and Examples, 2nd Ed., Korea (in Korean).
6. Lee, K. M., Lee, C. Y., Jung, S. H., and Choi, S. W. (2009), Tensile and Shear Test Method for Post-installed Mechanical Anchors Embedded in Concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, 21(1), 97-98 (in Korean).
7. Oh, H. S., and Park, S. R. (2011), Experimental Verification on the Structural Safety of Cantilever Beam Connected with Post-installed Adhesive Anchor Bolts, Journal of the Korea Concrete Institute, 23(4), 529-536 (in Korean).
8. Park, Y. M., Jeon, M. H., Choi, M. K., and Kim, C. H. (2011), A Study on the Concrete Breakout Capacity Evaluation of Medium-to-Large size CIP Anchor Bolts under Tension Loading, Journal of Korean Society of Steel Construction, 23(4), 493-501 (in Korean).
9. Werner, F., Rolf, E., and John E. B. (1995), Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, ACI Structural Journal, 92(1), 73-94.
10. Yoo, S. W., Jung, S. H., Kwak, K. S., and Lee, J. H. (2006), Experimental Study on Pull Out Characteristics of Adhesive Anchor, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 26(3A), 555-565 (in Korean).

Received : 06/21/2013

Revised : 10/15/2013

Accepted : 11/14/2013

#### 요 지

최근 토목구조물의 보수, 보강 및 리모델링시 구조부재를 부착시키거나 고정하는데 있어서 시공의 유연성 및 용이성으로 후설치 앵커의 사용량이 증가하고 있는 실정이지만 현재 우리나라에서는 설계자와 시공자가 신뢰할 수 있는 명확한 설계기준이 없는 상태로서 외국의 설계기준에 의존하고 있는 실정이다. 무근콘크리트에 매입된 앵커에 인발하중이 작용할 때 앵커의 다양한 파괴모드는 콘크리트 파괴, 쪼갬파괴, 강제파괴, 뿔힘파괴 및 측면파괴가 발생한다. 이것은 강재의 인장 강도, 콘크리트 강도, 매입 깊이, 앵커 간격, 연단거리와 인접 앵커의 존재에 따라 달라진다. 본 연구에서는 매입깊이, 앵커간격 및 연단거리를 변수로 한 후설치 콘크리트 세트앵커의 인발파괴실험을 통하여 무근콘크리트에 매입된 후설치 세트앵커의 인발거동에 미치는 영향을 규명하는 것을 그 목적으로 한다.

**핵심 용어** : 앵커간격, 연단거리, 매입깊이, 후설치 콘크리트 앵커, 뿔힘파괴, 세트 앵커