

연단거리, 앵커간격 및 콘크리트 강도에 따른 콘크리트용 후설치 세트앵커의 인발특성에 관한 실험적 연구

숫러타¹, 유승운^{1*}
¹관동대학교 토목공학과

An Experimental Study on Pullout Characteristics of Post-installed Set Anchor for Concrete under Edge Distance, Anchor Interval and Concrete Strength

Ratha Suth¹ and Seung-Woon Yoo^{1*}

¹Department of Civil Engineering, Kwandong University

요 약 1990년대 들어서, 국내 건물의 리모델링, 보수 및 유지관리의 증가에 따라 앵커의 사용량도 서서히 증가하고 있다. 콘크리트 앵커볼트의 설계에 45° 콘파괴 이론이 그동안 적용되어 왔으나, 2000년 이후부터 CCD(concrete capacity design) 방법이 새로운 설계법으로 도입되었다. 그러나 본 방법은 주로 선설치 콘크리트 앵커볼트에 대한 실험 결과에 근거한 관계로 모든 앵커볼트에 적용하기에는 많은 한계를 갖고 있다. 본 연구에서는 연단거리, 앵커간격 및 콘크리트 강도를 변수로 한 후설치 콘크리트 세트앵커의 인발과괴실험을 통하여 무근콘크리트에 매입된 후설치 세트앵커의 인발특성에 미치는 영향을 규명하는 것을 그 목적으로 한다.

Abstract In 1990s, with the increase of domestic building renovation but also increase the amount of anchor. The 45-degree cone failure theory has been used in concrete anchor bolts design, but the CCD (concrete capacity design) method was adopted as a new design method since 2000. However, the method has some problems because it is based on the experimental results of pre-installed concrete anchor bolts. In this study, the objective is to investigate the effects of anchor edge distance, anchor interval and concrete strength on pullout characteristics of post-installed concrete set anchor embedded in plain concrete.

Key Words : Anchor Interval, Concrete Set Anchor, Concrete Strength, Edge Distance

1. 서론

콘크리트 앵커는 기존 콘크리트 구조물을 보강하거나, 증축하는 경우 또는 중량물 혹은 철골구조물 등을 고정 시키는데, 건축구조물의 철골기둥, 터빈 기기 등을 콘크리트 구조물에 부착시키기 위해 널리 쓰인다. 부착물에 가해지는 하중은 마찰력, 기계적 잠금장치, 부착 또는 이들의 복합요소에 의해 앵커로 전달되며 다시 앵커를 통해 콘크리트 구조물로 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 카파방법이 좀 더 개선되어 텍사스 오스틴대학에서 좀 더 사용자 편의 위주로 만들어졌다. 이러한 노력들이 CCD(concrete capacity design)[1]방법으로 이어졌으며 같은 기간 동안 실험 결과에 대한 국제적인 데이터베이스도 구축되었다. 1990년대 중반 동안 ACI 349와 ACI

*Corresponding Author : Seung-Woon Yoo(Kwandong Univ.)

Tel: +82-33-649-7513 email: swyoo@kd.ac.kr

Received November 13, 2014

Revised (1st December 17, 2014, 2nd February 11, 2014)

Accepted April 10, 2014

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[2].

국내에서는 콘크리트에 매입된 앵커의 전단내력[3], 인장하중을 받는 중대형급선설치 앵커볼트의 콘크리트 파괴강도 평가를 위한 연구[4], 부착식 후설치 앵커로 연결된 내민보의 구조안정성에 대한 실험적 평가[5], 부착식 앵커의 인발 특성에 관한 실험적 연구[6], 콘크리트 매입 후설치 앵커의 인장 및 전단실험방법[7], 수치해석에 의한 직매형 앵커기초의 인장설계기준 평가[8], 콘크리트 앵커 및 정착, 이음장치, 현황[9]연구가 진행되었다. 또는 후설치 앵커의 성능평가와 해석모델[10] 과 같은 연구가 이루어졌다.

본 연구는 콘크리트용 후설치 앵커의 일종으로 가장 경제적인 앵커로 알려져 있는 세트앵커의 인발과파괴 거동에 연단거리, 앵커간격 및 콘크리트 압축강도가 미치는 영향을 규명하는 것을 목적으로 한다.

2. 실험개요

2.1 실험시편 설계 및 제작

본 실험은 콘크리트용 후설치 세트앵커시스템에 대한 부분적 실험으로 Table 1은 실험체 일람표이며, 실험체 명명법은 다음과 같다.

T16-aa-bb-cc-No, 여기서 aa는 세트앵커의 연단거리, bb는 앵커간격, cc는 콘크리트의 압축강도, No는 실험체수를 나타낸다.

[Table 1] List of experiments

Name of experiment	No. of exper.	Edge distance (mm)	Anchor interval (mm)	Concrete strength (MPa)
T16-20-20-18-No	2	256	256	18
T16-10-20-18-No	2	128	256	18
T16-05-20-18-No	2	64	256	18
T16-20-20-24-No	3	256	256	24
T16-10-20-24-No	3	128	256	24
T16-05-20-24-No	3	64	256	24
T16-20-20-30-No	2	256	256	30
T16-10-20-30-No	2	128	256	30

T16-05-20-30-No	2	64	256	30
T16-20-10-18-No	3	256	128	18
T16-20-05-18-No	3	256	64	18
T16-20-10-24-No	2	256	128	24
T16-20-05-24-No	2	256	64	24
T16-20-10-30-No	2	256	128	30
T16-20-05-30-No	2	256	64	30

2.2 실험방법

본 실험에서 세트앵커의 매입깊이는 128mm 으로 일정하며, 연단거리 및 앵커간격은 동일하게 매입깊이의 2.0배인 256mm, 1.0배인 128mm, 0.5배인 64mm를 변수로 하였다. 실험에 사용한 세트 앵커는 국내산으로 재질은 SS 400 탄소강이다. 모든 변수의 실험은 압축강도가 18MPa, 24MPa, 30MPa인 콘크리트 블록 (2.6m x2.0m x 0.4m)에서 각각 실시되었다.



[Fig. 1] Panorama of experiment



[Fig. 2] Test bed of experiment

인발하중을 실시간 측정하기 위해 로드셀(load cell)을 지그(jig) 상부에 설치하였고, 100mm LVDT 2개를 지그 측면에 부착하여 콘크리트 표면에서 부터의 인발 변위량을 데이터로거를 통해 계측하였다.



[Fig. 3] Figure of set anchor

3. 연단거리 및 앵커간격에 따른 실험 결과 및 분석

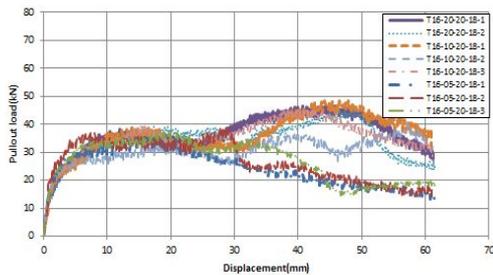
3.1 18MPa에서 실험결과 분석

세트앵커의 연단거리 및 앵커간격이 매입깊이의 2.0배 인 경우 최대 인발 하중이 38.08kN 이었으며 이 때 변위가 12.00mm 이었으며, 다른 연단거리 및 앵커간격에 대한 결과치를 요약하면 Table 2와 같다.

[Table 2] Result of concrete strength 18MPa

Name of experiment	Pullout load(kN)	Displ. (mm)	Failure mode
T16-20-20-18-1	38.08	12.00	pullout
T16-20-20-18-2	39.48	13.96	pullout
T16-10-20-18-1	38.64	16.19	pullout+micro crack
T16-10-20-18-2	33.32	20.28	pullout+micro crack
T16-10-20-18-3	38.92	15.09	pullout+micro crack
T16-05-20-18-1	35.00	15.76	pullout+splitting+SB
T16-05-20-18-2	36.96	7.34	pullout+splitting+SB
T16-05-20-18-3	37.24	18.24	pullout+splitting+SB
T16-20-10-18-1	38.64	12.81	pullout
T16-20-10-18-2	40.32	13.88	pullout
T16-20-05-18-1	36.40	10.26	pullout+micro crack
T16-20-05-18-2	34.72	17.48	pullout+micro crack

* SB: side-face blowout



[Fig. 4] Pullout load-displacement curve for edge distance at 18MPa

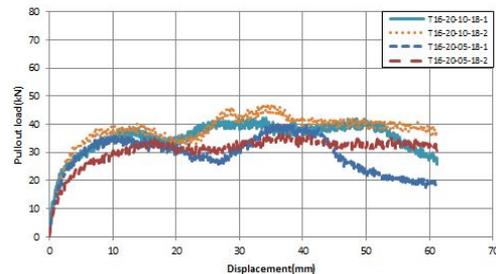
Fig. 4는 연단거리 2.0, 1.0, 0.5배 경우의 실험결과 그림이다. T16-20-20-18-No 실험체의 실험(1), 실험(2)는 뿔힘 파괴가 발생하였고 균열은 발생하지 않았다. 모든 실험은 최대하중 및 변위곡선이 거의 비슷하게 나타났다. T16-10-20-18-No 실험체의 실험(1), 실험(2)는 미세 균열이 발생하였고 앵커는 완전히 뿔히지 않았다. T16-05-20-18-No 실험체의 실험(1), 실험(2)는 뿔힘, 쪼

개짐 및 측면파열 파괴가 발생하였으며 다소 큰 균열이 많이 발생하였지만 앵커가 완전히 뿔히지 않았다. 실험(2)는 변위 7.34mm 일 때 앵커가 뿔히면서 실험(1)과 실험(3)보다 하중이 빨리 감소하였다.



[Fig. 5] Failure mode (spitting and side-face blowout)

앵커 간격 효과를 살펴보기 위해 앵커 간격 1.0, 0.5배의 경우에 대해 실험하였다. Fig. 6. 앵커 간격 128mm 실험체인 T16-20-10-18-No의 실험(1), 실험(2)는 뿔힘 파괴가 발생하였지만 균열은 발생하지 않았고 앵커도 완전히 뿔히지 않았다. 두 실험의 경우 최대하중 및 하중-변위곡선은 비슷하게 나타나므로 실험은 적절히 수행된 것으로 판단된다. T16-20-05-18-No 실험체의 실험(1), 실험(2)의 경우 앵커 간격 1.0배와 상이하게 균열이 발생하였고 뿔힘 파괴가 일어났다. 실험(1)은 변위 57.01mm 일 때 시각적으로 균열이 관찰 되었으며 이 균열은 실험중인 앵커에서 앵커 간격 변수 0.5 (64mm) 만큼 떨어져 있는 앵커구멍 아래쪽에서 관찰되었다.



[Fig. 6] Pullout load-displacement curve for anchor interval at 18MPa

3.2 24MPa에서 실험결과 분석

세트앵커의 연단거리 및 앵커간격이 매입깊이의 2.0배 인 경우 최대 인발 하중이 43.12kN 이었으며 이 때 변위가 7.16mm 이었으며, 다른 연단거리 및 앵커간격에 대한

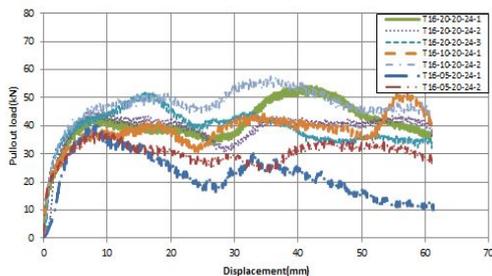
결과치를 요약하면 Table 3과 같다.

[Table 3] Result of concrete strength 24MPa

Name of experiment	Pullout load(kN)	Displ. (mm)	Failure mode
T16-20-20-24-1	43.12	7.16	pullout
T16-20-20-24-2	45.36	9.09	pullout
T16-20-20-24-3	51.80	16.00	pullout
T16-10-20-24-1	41.44	18.23	pullout
T16-10-20-24-2	51.80	18.73	pullout+micro crack
T16-05-20-24-1	40.32	8.63	pullout+splitting+SB
T16-05-20-24-2	38.08	8.65	pullout+splitting+SB
T16-20-10-24-1	46.76	18.76	pullout
T16-20-10-24-2	40.32	15.35	pullout
T16-20-10-24-3	38.92	14.22	pullout
T16-20-05-24-1	42.84	7.82	pullout+micro crack
T16-20-05-24-2	52.64	10.04	pullout+micro crack
T16-20-05-24-3	49.56	14.68	pullout

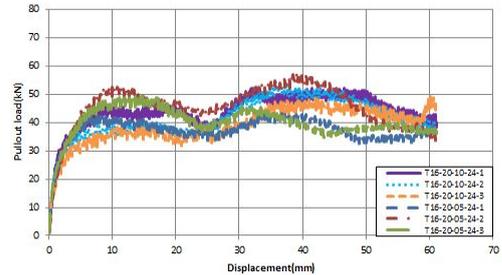
* SB: side-face blowout

Fig. 7은 연단거리 2.0, 1.0, 0.5배 경우의 실험결과 그림이다. 연단거리 256mm인 T16-20-20-24-No 실험체의 실험(1), 실험(2), 실험(3)은 콘크리트 균열 없이 뽑힘 파괴만 발생하였다. 실험(3)은 실험(1)과 실험(2)보다 최대 하중이 제일 크게 나타났다. T16-10-20-24-No 실험체의 실험(1), 실험(2)는 뽑힘 파괴가 발생하였고 실험(2)는 미세 균열이 많이 발생하였다. 두 실험의 차이는 콘크리트의 불균일성 및 실험오차도 추정된다. 실험(1)은 변위 52mm 일 때 앵커와 콘크리트가 함께 뽑혀 하중이 증가하다가 다시 감소하였다. T16-05-20-24-No 실험체의 실험(1), 실험(2)는 뽑힘, 쪼개짐 및 측면파열 파괴가 발생하였다. 실험(1)은 실험(2)보다 균열 발생이 다소 늦게 발생하였으며 최대하중은 더 크게 나타났다.



[Fig. 7] Pullout load-displacement curve for edge distance at 24MPa

Fig. 8은 앵커간격 1.0, 0.5배 경우의 실험결과 그림이다. T16-20-10-24-No 실험체의 실험(1), 실험(2), 실험(3)은 뽑힘 파괴가 발생하였지만 균열은 발생하지 않았다. 실험(1)은 실험(2)과 실험(3)보다 최대하중이 제일 크게 나타났다. T16-20-05-24-No 실험체의 실험(1), 실험(2), 실험(3)은 뽑힘 파괴가 발생하였지만 실험(1) 및 실험(2)는 앵커 간격 사이에 균열이 발생했다. 실험(2)는 실험(1)과 실험(3)보다 함께 뽑히는 결과를 보였으며 최대 하중도 제일 크게 나타났다.



[Fig. 8] Pullout load-displacement curve for anchor interval at 24MPa

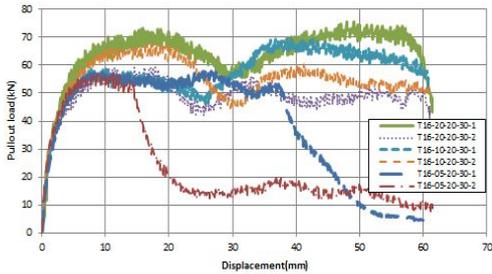
3.3 30MPa에서 실험결과 분석

세트앵커의 연단거리 및 앵커간격이 매입깊이의 2.0배 인 경우 최대 인발 하중이 73.08kN 이었으며 이 때 변위가 15.89mm 이었으며, 다른 연단거리 및 앵커간격에 대한 결과치를 요약하면 Table 4와 같다.

[Table 4] Result of concrete strength 30MPa

Name of experiment	Pullout load(kN)	Displ. (mm)	Failure mode
T16-20-20-30-1	73.08	15.89	pullout
T16-20-20-30-2	59.36	16.98	pullout
T16-10-20-30-1	58.80	10.10	pullout+micro crack
T16-10-20-30-2	67.76	18.12	pullout+micro crack
T16-05-20-30-1	57.40	7.97	pullout+splitting+SB
T16-05-20-30-2	57.12	11.08	pullout+splitting+SB
T16-20-10-30-1	55.72	18.49	pullout+micro crack
T16-20-10-30-2	67.20	17.83	pullout
T16-20-05-30-1	59.92	19.04	pullout
T16-20-05-30-2	48.72	15.58	pullout

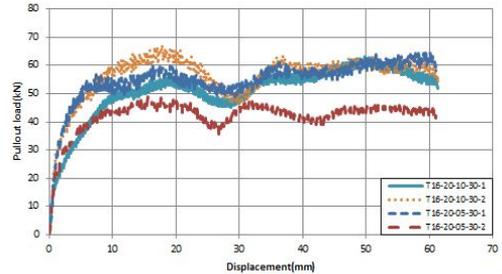
* SB: side-face blowout



[Fig. 9] Pullout load-displacement curve for edge distance at 30MPa

Fig. 9는 연단거리 2.0, 1.0, 0.5배 경우의 실험결과 그림이다. T16-20-20-30-No 실험체의 실험(1), 실험(2)는 뽑힘 파괴가 발생하였고 실험(1)은 실험(2)보다 최대하중이 약 19% 더 크게 나타났다. 연단거리 128mm인 T16-10-20-30-No 실험체의 실험(1), 실험(2)는 뽑힘 파괴가 발생하였고 균열도 발생하였지만 실험(2)는 변위가 21.5mm 일 때 콘크리트 측면에 미세 균열이 발생하다가 하중이 감소했다. 실험(1)은 앵커가 뽑히다가 변위가 8mm 일 때 하중이 감소했으며, 변위가 44.3mm 일 때 콘크리트 측면하고 매입된 앵커 구멍 좌우측에 미세 균열이 많이 관찰되었다. T16-05-20-30-No 실험체의 실험(1), 실험(2)는 뽑힘, 쪼개짐 및 측면과열 파괴가 발생하였으며 다소 큰 균열이 많이 발생하였다. 실험(2)는 실험(1)보다 균열이 빨리 발생했으며 변위 2.78mm 일 때 콘크리트 측면에 세로 방향으로 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 변위 17.28mm 일 때 좌측 가압판 측면에 균열이 발생한 것을 관찰하였고 이후 하중이 급격하게 감소하였다. 실험(1)은 변위 3.43mm 일 때 측면 중앙에 세로 방향으로 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 변위 41.17mm 일 때 측면에 발생하였던 균열 아래쪽에 가로방향으로 균열이 크게 발생한 것을 관찰하였으며 이후 하중이 급격하게 감소하였다.

앵커 간격 효과를 살펴보기 위해 앵커 간격 1.0, 0.5배 경우에 대해 실험하였다(Fig. 10). 앵커 간격 128mm 실험체인 T16-20-10-30-No 의 실험(1), 실험(2)는 뽑힘 파괴가 발생하였지만 실험(1)은 앵커 구멍에서 좌측에 앵커 간격 변수 0.5배 만큼 떨어져 있던 앵커 구멍까지 균열이 발생하였다. 실험(2)는 실험(1)보다 최대하중이 크게 나타났다. T16-20-05-30-No 실험체의 실험(1), 실험(2)는 뽑힘 파괴가 발생하였지만 균열이 발생 하지 않았고 앵커가 완전히 뽑히지 않았다.

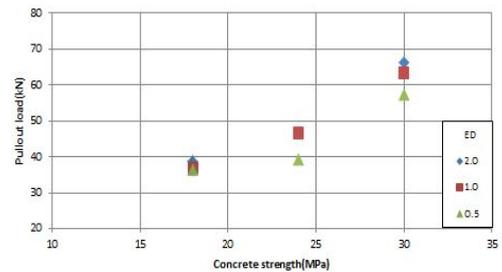


[Fig. 10] Pullout load-displacement curve for anchor interval at 30MPa

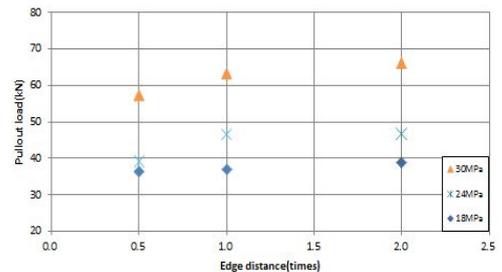
4. 연단거리, 앵커간격 및 콘크리트 강도에 따른 매개변수 분석

[Table 5] Average pullout load for edge distance

Name of experiment	Average pullout load(kN)	Average displ. (mm)
T16-20-20-18	38.78	12.98
T16-10-20-18	36.96	17.19
T16-05-20-18	36.40	13.78
T16-20-20-24	46.76	10.75
T16-10-20-24	46.62	18.48
T16-05-20-24	39.20	8.64
T16-20-20-30	66.22	16.43
T16-10-20-30	63.28	14.11
T16-05-20-30	57.26	9.52



[Fig. 11] Parameter graph for edge distance-I



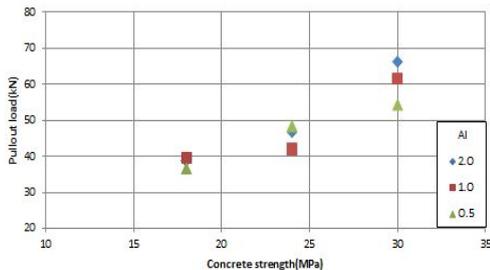
[Fig. 12] Parameter graph for edge distance-II

Table 5 및 Fig. 11,12를 살펴보면 연단거리가 앵커 매입깊이의 1.0배 이상인 경우에는 영향을 크게 받지 않는 것으로 추정된다. 콘크리트 강도에 관계없이 연단 거리가 앵커 매입깊이의 1.0배 이상이면 영향은 제한적인 것으로 나타났다. 콘크리트 강도에 따라서 연단거리 변수가 클수록 최대 인발하중이 크게 나타났지만 콘크리트 강도 18MPa의 경우에는 연단거리가 앵커 매입깊이의 1.0배까지는 큰 변화가 없었고 연단거리가 매입깊이의 2.0배였을 때 하중이 조금 증가하였다. 이러한 결과를 보아 콘크리트 강도가 낮은 경우에는 연단거리를 앵커 매입깊이의 2.0배보다 더 크게 해야 할 것으로 판단된다.

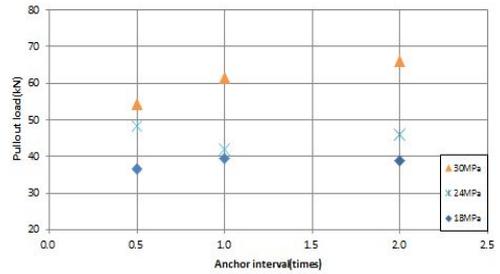
[Table 6] Average pullout load for anchor interval

Name of experiment	Average pullout load(kN)	Average displ. (mm)
T16-20-20-18	38.78	12.98
T16-20-10-18	39.48	13.34
T16-20-05-18	36.63	13.57
T16-20-20-24	46.76	10.75
T16-20-10-24	42.00	16.11
T16-20-05-24	48.35	10.85
T16-20-20-30	66.22	16.43
T16-20-10-30	61.46	18.16
T16-20-05-30	54.32	17.31

Table 6 및 Fig. 13,14를 보면 콘크리트 강도가 18MPa, 24MPa의 경우는 30MPa의 경우에 비해 앵커간격의 영향이 적은 것으로 판단된다. 콘크리트 강도가 큰 경우에는 앵커 간격내의 미세 균열이 콘크리트 강도가 작은 경우보다 적게 발생하였다. 콘크리트 강도 24MPa 및 18MPa에서는 앵커간격이 앵커 매입깊이의 1.0배 이상일 경우에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 생각된다. 24MPa의 실험결과를 보면 앵커간격이 앵커 매입깊이의 1.0배인 경우 최대 인발 하중이 작게 나왔는데 이것은 실험 오차로 추정된다.



[Fig. 13] Parameter graph for anchor interval-I



[Fig. 14] Parameter graph for anchor interval-II

5. 결론

본 연구는 콘크리트용 후설치 세트앵커의 연단거리, 앵커간격 및 콘크리트 압축강도를 주요변수로 하여 인발 파괴실험을 수행하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 연단거리에 따른 앵커의 인발하중은 콘크리트 강도에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. 콘크리트 압축강도가 클수록 최대 인발하중이 크게 나타났으며, 본 실험의 경우 연단거리가 매입깊이의 1.0배 이상인 경우에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 분석되나, 앵커직경에 따른 영향을 고려하여야 할 것으로 판단된다.
- (2) 앵커간격에 따른 영향은 콘크리트 압축강도가 클수록 최대 인발하중에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다지만 콘크리트 강도 18MPa 및 24MPa에서는 앵커간격의 영향을 많이 받지 않는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 콘크리트 압축강도가 작은 경우 앵커간격에 의한 영향보다 콘크리트 자체 강도에 의한 영향이 더 크다고 판단된다.

References

- [1] F. Werner, E. Rolf, E. B. John, "Concrete Capacity Design(CCD) Approach for Fastening to Concrete," *ACI Structural Journal*. vol. 92, No. 1, pp.73-94, January, 1995.
- [2] Korea Concrete Institute, *Design Method for Concrete Anchors and Examples*, Korea, 2010.
- [3] S. Y. Kim, and K. S. Kim, "Shear Strength of Anchors installed in Uncracked and Unreinforced Concrete",

Conference of Architectural Institute of Korea, vol. 19, No. 9, pp.69-78, September, 2003.

- [4] Y. M. Park, M. H. Jeon, M. K. Choi, C. H. Kim, "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*, vol. 23, No. 4, pp.493-501, August, 2011.
- [5] H. S. Oh, S. R. Park, "Experimental Verification on the Structural Safety of Cantilever Beam Connected with Post-installed Adhesive Anchor Bolts", *Journal of the Korea Concrete Institute*, vol. 23, No. 4, pp.529-539, August, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2011.23.4.529>
- [6] S. W. Yoo, S. H. Jung, K. S. Kwak, J. H. Lee, "Experimental Study on Pullout Characteristics of Adhesive Anchor", *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, vol. 26, No. 3, pp. 555-563, May, 2006.
- [7] K. M. Lee, C. Y. Lee, S. H. Jung, S. W. Choi, "Tensile and Shear Test Method for Post-installed Mechanical Anchors Embedded in Concrete", *Journal of the Korea Concrete Institute*, vol. 21, No. 1, pp.97-98, 2009.
- [8] J. B. Jang, and Y. P. Suh, "An Evaluation of Tensile Design Criteria of Cast-In-Place Anchor by Numerical Analysis", *Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea*, vol. 18, No. 3, pp.303-309, September, 2005.
- [9] D. U. Choi, K. H. Kim, "State-of-the-Art on Anchoring to Concrete, Mechanical Anchorage and Splices of Reinforcement", *Magazine of the Korea Concrete Institute*, vol. 17, No. 5, pp. 16-20, September, 2005.
- [10] J. S. Kim, M. H. Kwon, H. S. Seo, J. H. Park, "Performance Evaluation and Analysis Model for the Post-Installed Anchor", *Journal of KOSHAM*, vol. 13, No. 2, pp.89-95, April, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.2.089>

숫 러 타(Ratha Suth)

[준회원]



- 2012년 2월 : 관동대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 관동대학교 토목공학과 (석사과정)

<관심분야>

구조공학, 구조물보수보강

유 승 운(Seung-Woon Yoo)

[정회원]



- 1985년 2월 : 연세대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : KAIST 토목환경공학과 (공학박사)
- 2005년 7월 ~ 2006년 8월 : 위스콘신대학교 방문교수
- 1995년 3월 ~ 현재 : 관동대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 구조물보수보강