

# 콘크리트용 후설치 세트앵커의 전단파괴거동에 관한 실험적 연구

엄찬희\* · 유승운\*\*

Um, Chan-Hee\*, Yoo, Seung-Woon\*\*

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

### 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 a concrete structures. Depending on the shear strength of steel, the strength of concrete, edge distance and anchor interval, etc, the anchor loaded in shearing exhibits various failure modes such as steel failure, concrete failure, concrete pryout. In this study, the objective is to investigate the effects of the variations like anchor embedment depth, anchor interval, edge distance and concrete strength on the shear failure behavior of post-installed concrete set anchor embedded in concrete. The results of embedment depth experiments show that concrete strength has much effect on the shallow embedment depth. Steel failure occur to all results of the anchor interval experiments, but concrete is failed when edge distance experiments that less than the embedment depth. Through the comparison of the same parameters experiments results show that as strong as concrete strength are the displacement results are small.

**Key words :** Post-installed concrete anchor, Set anchor, Shear failure, Embedment depth, Anchor interval, Edge distance, Strength of concrete

### 초 록

최근 콘크리트 구조물의 보수, 보강 및 리모델링 시 구조부재를 부착시키거나 고정하는데 있어서 시공의 유연성 및 용이성으로 후설치 앵커의 사용량이 증가하고 있는 실정이다. 전단하중을 받는 앵커는 강재와 콘크리트의 강도, 연단거리, 앵커간격 등에 따라 다양한 파괴모드를 보이며 대표적인 파괴모드는 강재 파괴, 콘크리트 파열 파괴, 콘크리트 프라이 아웃 파괴 등으로 나타난다. 본 연구에서는 매입깊이, 앵커간격, 연단거리 및 콘크리트 강도를 변수로 한 세트앵커의 전단 실험을 통하여 콘크리트에 매입된 후설치 앵커의 전단 파괴거동에 미치는 영향을 규명하는 것을 그 목적으로 한다. 매입깊이 변수의 실험 결과 매입깊이가 얕을수록 콘크리트 강도의 영향이 큰 것으로 나타났다. 앵커간격 변수의 실험 결과 모두 강재 파괴가 발생하였으며, 연단거리 변수의 실험 결과 매입깊이 이하인 경우 모두 콘크리트 파괴가 발생하였다. 동일한 변수의 실험 결과를 비교해 보았을 때 콘크리트 강도가 클수록 변위가 상대적으로 더 작게 나타났다.

**검색어 :** 후설치 콘크리트 앵커, 세트앵커, 전단파괴, 매입깊이, 앵커간격, 연단거리, 콘크리트 강도

## 1. 서론

콘크리트 앵커시스템은 기존 교량과 같은 구조물에 여러가지 이유에 의해 추가적으로 구조물을 확장, 고정 및 지지하기 위하여 사용된다. 또한 앵커시스템은 기기 및 배관 등을 콘크리트 구조물에 안전하게 정착시켜 하중을 전달하는데 사용되고 있다. 콘크리트용

\* 관동대학교 토목공학과 대학원 (boram24u@naver.com)

\*\* 정희원·교신저자·관동대학교 토목공학과 교수 (Corresponding Author · Kwandong University · swyoo@kd.ac.kr)

Received August 7, 2013/ revised October 7, 2013/ accepted January 14, 2014

앵커시스템은 크게 선설치 앵커(cast-in-place anchor)와 후설치 앵커(post-installed anchor)로 대별되는데 특히 후설치 앵커는 기존 노후 구조물의 보수, 보강, 확장 등에 손쉽게 시공 가능하여 사용량이 크게 증가하고 있다. 하지만 현재 국내에서는 전단하중을 받는 앵커시스템에 관한 연구가 많이 부족한 상태이며 명확한 설계기준이 없는 상태이다. 일반적으로 콘크리트에 매입되어 전단 하중을 받는 후설치 앵커는 강재와 콘크리트의 강도, 연단거리 및 앵커간격 등에 따라 다양한 파괴모드를 보인다. 대표적인 파괴모드는 연단거리가 충분한 경우의 강재파괴, 콘 모양의 파괴 면을 갖는 콘크리트 파괴, 연단거리가 작은 경우 콘크리트 측면이 파괴되는 콘크리트 파괴, 매입깊이와 앵커의 직경이 상대적으로 작은 경우 일어나기 쉬운 콘크리트 프라이 아웃(pry out)파괴 등으로 나타난다.

국내에서의 후설치 세트앵커에 대한 연구는 부족한 실정이며, 대부분의 자료는 외국의 기술보고서를 사용하고 있다. 국내의 연구로는 비균열 무근콘크리트에 매입된 앵커의 전단성능 특성을 규명하였고(Kim et al, 2003), 콘크리트 파괴가 주로 일어나는 고하중 앵커는 콘크리트 콘 파괴에 의해서 조합하중의 내력이 결정되는 것으로 판단하였다(Kim et al. 2005). ACI 349-01을 이용하여 설계 영향 검토를 수행하였으며(Nam, 2006) ACI 349 신규기준의 문제점을 검토하였고(Moon et al. 2000), CCD (concrete capacity design) 방법에 대하여 실험값과 예측값이 비교적 일치한 것으로 평가하였다(Ko et al. 2002; Werner et al. 1995). 후설치 앵커의 인장 및 전단 시험 방법을 제안하여(Lee et al. 2009) 공칭 전단

파괴 강도는 현 설계 기준식보다 작게 평가된 것으로 판단하였으며 (Jin, 2011), 전단하중과 부착력의 증가율은 앵커 직경의 증가에 영향이 있음을 규명하였다(Kim et al. 2013; Yoo et al. 2006). 최초로 허용할 수 있는 인장강도 및 전단강도의 범위를 제시하였으나(Wiewel, 1991) 앵커의 전단 파괴 시 연단거리에 따른 전단강도를 실제 강도보다 크게 평가하고 있다는 것을 발표하였다(Werner et al. 1989). 전단하중을 받는 앵커시스템의 극한하중을 산정하여 (Son, 2002) 적정 연단거리를 확보하는 것이 효과적인 것으로 제시하였다(Hwang, 2010).

본 연구에서는 매입깊이, 앵커간격, 연단거리 및 콘크리트 강도를 실험 변수로 한 세트앵커(set anchor)의 전단 실험을 통하여 콘크리트에 매입된 후설치 앵커의 전단 파괴거동에 여러 실험 변수들이 미치는 영향을 규명하는 것을 그 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.

S-aa-bb-cc-dd-e, 여기서 aa는 세트앵커의 매입깊이, bb는 앵커 간격, cc는 연단거리, dd는 콘크리트의 압축강도, No는 실험체수를 나타낸다.

Table 1. List of Experiments

Name of experiment	No. of experiment	Embedment depth (mm)	Anchor interval (mm)	Edge distance (mm)	Concrete strength (MPa)
S-10-20-20-01-No	3	160	-	-	18
S-08-20-20-01-No	2	128	-	-	18
S-06-20-20-01-No	2	96	-	-	18
S-04-20-20-01-No	2	64	-	-	18
S-08-10-20-01-No	3	128	128	-	18
S-08-05-20-01-No	2	128	64	-	18
S-08-20-10-01-No	2	128	-	128	18
S-08-20-05-01-No	2	128	-	64	18
S-10-20-20-03-No	2	160	-	-	30
S-08-20-20-03-No	2	128	-	-	30
S-06-20-20-03-No	2	96	-	-	30
S-04-20-20-03-No	2	64	-	-	30
S-08-10-20-03-No	2	128	128	-	30
S-08-05-20-03-No	2	128	64	-	30
S-08-20-10-03-No	2	128	-	128	30
S-08-20-05-03-No	2	128	-	64	30

## 2.2 실험방법

본 실험에서는 직경 16 mm 국내산 세트앵커(set anchor)를 사용하여 전단 실험을 실시하였다. 실험에 사용한 앵커의 재질은 SS 400 탄소강이며, 가격경쟁력이 뛰어나 저하중용으로 시중에서 많이 사용하는 앵커이다. 앵커 매입깊이 변수는 앵커 직경의 10, 8, 6, 4배의 네 가지 경우로 실험하였으며 앵커간격 및 연단거리는 동일하게 매입깊이의 2.0, 1.0, 0.5배로 실험하였다. 앵커는 직경 21.5 mm 드릴비트로 앵커 구멍을 천공하여 삽입하였고, 15 kg의 타격추를 600 mm 높이에서 7번 타격하여 앵커를 고정시켰다. 콘크리트의 설계 압축강도는 18, 30 MPa 이며 실제 28일 압축강도는 15.7, 28.4 MPa 이었다. 실험에 사용한 테스트 베드는 2.6 m × 2.0 m × 0.4 m 크기이며 강봉을 콘크리트 타설 전에 설치하여 가력벽을 만들었다.

전단 실험을 하기 위하여 콘크리트 블록에 반력벽 설치하였으며 특수 제작된 지그(jig)를 이용하여 앵커 상단은 지그 하부와 연결하고, 측면은 강봉과 연결하여 일체화하였고 이를 통해 순수 전단 힘을 받게 계획하였다. 하중 계측을 위한 로드 셀(load cell)을 설치한 후 하이드로릭 펌프(hydraulic hand pump)를 이용하여 하중을 재하하였으며, 앵커의 변위를 측정하기 위하여 100 mm LVDT를 양쪽에 두 개 설치하여 데이터로거(data logger)를 이용하여 하중 및 변위량을 측정하였다.



Fig. 1. Test Bed of Experiment

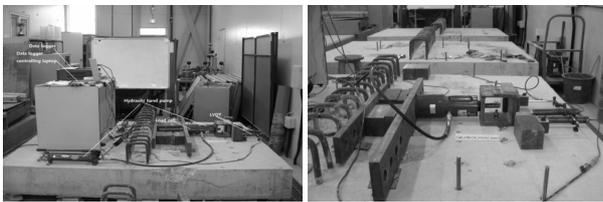


Fig. 2. Photo of Experiment

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 세트앵커의 매입깊이에 대한 결과 및 분석

세트앵커의 매입깊이 영향을 분석하기 위하여 앵커 직경의 10, 8, 6, 4배의 매입깊이를 실험 변수로 선정하여 실험하였다.

### 3.1.1 18 MPa에서의 실험결과 분석

Fig. 3은 매입깊이가 앵커 직경의 10, 8, 6, 4배 경우의 실험결과 그림이다. S-10-20-20-01 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 강제 파괴가 발생하였지만 최대 전단하중시의 변위는 차이를 보였다. 실험(1)의 최대 전단하중은 62.16 kN 이었으며 이 때 변위는 20.43 mm 였다. 이후 하중이 급격히 감소하였고 전단하중 21.00 kN, 변위 26.72 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(2)의 결과는 실험(1)과 유사하게 강제 파괴가 일어났으며, 콘크리트 표면이 약간의 파괴를 보였다. 최대 전단하중은 62.72 kN 이었으며 이 때 변위는 30.02 mm였다. 실험(2)는 실험(1)보다 앵커가 전단하중을 받으며 변형이 생길 때 앵커를 받쳐주던 콘크리트 표면이 문들어지며 변위가 더 커진 것으로 추정된다.

S-08-20-20-01 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 강제 파괴가 발생하였고 최대 전단하중 및 변위가 비슷하게 나타났다. 실험(1)은 전단하중 55.44 kN, 변위 15.31 mm 일 때 콘크리트에 균열이 발생되었다. 최대 전단하중은 66.36 kN 이었으며 이 때 변위는 24.69 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 57.96 kN, 변위 27.16 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(2)의 경우 최대 전단하중은 65.80 kN 이었으며 이 때 변위는 25.30 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고

Table 2. Result of Embedment Depth Parameter for 18 MPa

Name of experiment	Shear load (kN)	Displacement (mm)	Failure mode
S-10-20-20-01-1	62.16	20.43	steel
S-10-20-20-01-2	62.72	30.02	steel
S-08-20-20-01-1	66.36	24.69	steel
S-08-20-20-01-2	65.80	25.30	steel
S-06-20-20-01-1	59.64	29.14	steel
S-06-20-20-01-2	57.68	25.95	steel
S-04-20-20-01-1	38.64	13.29	pullout
S-04-20-20-01-2	40.32	16.84	pry out

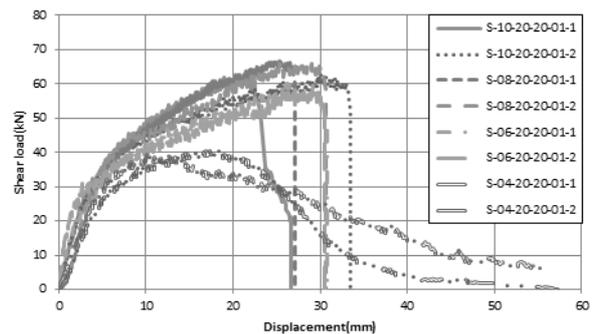


Fig. 3. Displacement Curve of Embedment Depth for 18 MPa

전단하중 58.24 kN, 변위 30.62 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다.

S-06-20-20-01 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 강제 파괴가 발생하였으며 최대 전단하중 및 변위가 비슷하게 나타났다. 실험(1)의 최대 전단하중은 59.64 kN 이었으며 이 때 변위는 29.14 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 48.16 kN, 변위 30.73 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(2)의 최대 전단하중은 57.68 kN 이었으며 이 때 변위는 25.95 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 57.40 kN, 변위 26.88 mm 일 때 강제와 콘크리트의 마찰음이 발생하였고 전단하중 49.00 kN, 변위 30.56 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다.

S-04-20-20-01 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 실험(1)은 앵커 주위의 상부 콘크리트가 문들어지면서 뿔뿔 파괴가 발생하였고 실험(2)는 프라이 아웃 파괴가 발생하였다. 실험(1)은 전단하중 37.52 kN, 변위 11.24 mm 일 때 앵커주위 상부 콘크리트에 미세 균열이 발생하여 문들어지기 시작하였다. 최대 전단하중은 38.64 kN 이었으며 이 때 변위는 13.29 mm 였다. 이후 하중이 서서히 감소하였으며 전단하중 5.88 kN, 변위 55.21 mm 일 때 실험이 종료 되었다. 실험(2)의 최대 전단하중은 40.32 kN 이었으며 이 때 변위는 16.84 mm였다. 전단하중 17.64 kN, 변위 29.46 mm 일 때 반력 지지대를 좌측 기준으로 매입된 앵커구멍 상단 부분에 균열이 발생하였다. 전단하중 14.28 kN, 변위 30.88 mm 일 때 매입된 앵커 좌측 상단 부분에 균열을 관찰하였다. 전단하중 12.60 kN, 변위 31.00 mm 일 때 기존의 균열이 더 커지는 것이 관찰되었다. 전단하중 13.44 kN, 변위 31.54 mm 일 때 매입된 앵커 우측 하단 부분에 균열이 관찰되었고 전단하중 11.20 kN, 변위 31.91 mm 일 때 매입된 앵커 좌측 하단 부분에 균열이 발생하였다. 하중이 서서히 감소하다가 전단하중 0.28 kN, 변위 56.74 mm 일 때 프라이 아웃 파괴가 발생하면서 실험이 종료되었다. 실험(1)



Fig. 4. Failure Mode for Embedment Depth

은 앵커 후면 콘크리트에 시각적으로 파괴를 보이지 않았지만 콘크리트 내부에 미세균열이 발생하고 앵커 주위의 상부 콘크리트가 문들어지면서 앵커 구멍이 확공되고, 실험 장치인 지그의 들림에 의한 일부 인발하중의 작용에 의해 뿔뿔 현상이 발생한 것으로 판단된다.

### 3.1.2 30 MPa에서의 실험결과 분석

Fig. 5는 매입깊이가 앵커 직경의 10, 8, 6, 4배 경우의 실험결과 그림이다. S-10-20-20-03 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 강제 파괴가 발생하였으며 최대 전단하중 및 변위가 비슷하게 나타났다. 실험(1)은 전단하중 43.68 kN, 변위 6.67 mm 일 때 지그의 들림 현상이 발생하였고, 최대 전단하중은 61.60 kN 이었으며 이 때 변위는 15.66 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 56.00 kN, 변위 16.30 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(2)는 전단하중 56.84 kN, 변위 6.48 mm 일 때 지그의 들림 현상이 발생하였으며, 최대 전단하중은 62.44 kN이고 이 때 변위는 10.34 mm였다. 이후 하중이 급격히 감소하였고 전단하중 28.84 kN, 변위 14.80 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다.

Table 3. Result of Embedment Depth Parameter for 30MPa

Name of experiment	Shear load (kN)	Displacement (mm)	Failure mode
S-10-20-20-03-1	61.60	15.66	steel
S-10-20-20-03-2	62.44	10.34	steel
S-08-20-20-03-1	63.56	18.66	steel
S-08-20-20-03-2	61.60	9.55	steel
S-06-20-20-03-1	64.68	16.10	steel
S-06-20-20-03-2	63.00	12.56	steel
S-04-20-20-03-1	59.08	19.96	steel
S-04-20-20-03-2	61.32	18.31	steel

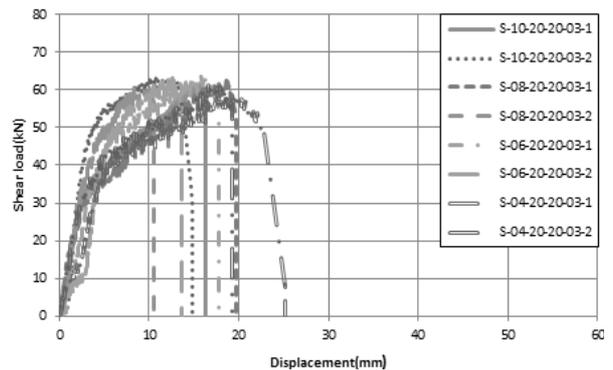


Fig. 5. Displacement Curve of Embedment Depth for 30 MPa

S-08-20-20-03 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 강제 파괴가 발생하였으며 최대 전단하중은 비슷하게 나타났지만 변위는 차이가 있었다. 실험(1)은 전단하중 35.00 kN, 변위 4.76 mm 일 때 지거와 콘크리트의 마찰음이 발생하여 전단하중 44.80 kN, 변위 7.83 mm 일 때까지 계속 발생하였다. 전단하중 48.72 kN, 변위 10.47 mm 일 때 콘크리트에 균열이 발생하였다. 최대 전단하중은 63.56 kN 이었으며 이 때 변위는 18.66 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 52.92 kN, 변위 19.67 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(2)는 전단하중 49.84 kN, 변위 4.86 mm 일 때 지거와 콘크리트의 마찰음이 발생하였고 전단하중 53.48 kN, 변위 6.20 mm 일 때까지 계속 되었다. 최대 전단하중은 61.60 kN 이었으며 이 때 변위는 9.95 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 56.84 kN, 변위 10.47 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다.

S-06-20-20-03 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 강제 파괴가 발생하였으며 최대 전단하중 및 변위가 비슷하게 나타났다. 실험(1)의 최대 전단하중은 64.68 kN 이었으며 이 때 변위는 16.10 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 54.60 kN, 변위 17.72 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(2)의 최대 전단하중은 63.00 kN 이었으며 이 때 변위는 12.56 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 56.28 kN, 변위 13.64 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다.

S-04-20-20-03 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 강제 파괴가 발생하였으며 최대 전단하중 및 변위가 비슷하게 나타났다. 실험(1)의 최대 전단하중은 59.08 kN 이었으며 이 때 변위는 19.96 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 51.24 kN, 변위 22.58 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(2)의 최대 전단하중은 61.32 kN 이었으며 이 때 변위는 18.31 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 51.52 kN, 변위 19.26 mm 일 때 강재가 파괴되며 실험이 종료 되었다. 실험(1)의 그래프를 보면 최대 전단하중 이후 그래프가 한번 꺾이는 현상을 보였다. 이 현상은 매입깊이가 낮아 앵커가 전단하중의 힘을 받을 때 앵커 밑부분의 콘크리트가 그 힘을 받쳐주지 못하여 미세한 균열이 발생한 것으로 추정되며, 그래프의 모양으로 보아 프라이 아웃 파괴가 일어나는 듯 보였으나 콘크리트의 강도가 높기 때문에 강제 파괴가 먼저 발생한 것으로 추정된다.

**3.2 세트앵커의 앵커간격에 대한 결과 및 분석**

세트앵커의 앵커간격의 영향을 분석하기 위해 변수로 세 가지 경우를 선정하였으며, 매입깊이의 2.0, 1.0, 0.5배의 간격으로 실험 하였다.

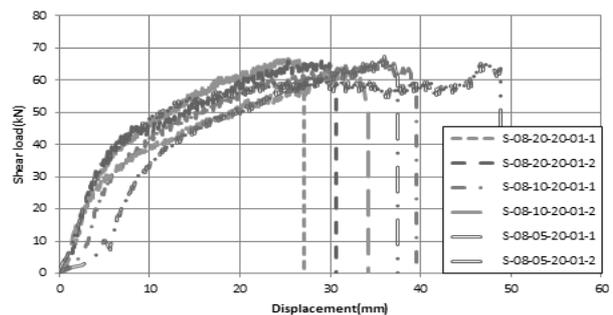
**3.2.1 18 MPa에서의 실험결과 분석**

Fig. 6은 앵커간격이 매입깊이의 2.0, 1.0, 0.5배 경우의 실험결과 그림이다. S-08-10-20-01 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 강제 파괴가 발생하였고 최대 전단하중 및 변위가 비슷하게 나타났다. 실험(1)의 경우 전단하중 43.68 kN, 변위 11.96 mm 일 때 콘크리트에서 균열이 발생하였다. 최대 전단하중은 65.52 kN 이었으며 이 때 변위는 34.43 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 56.00 kN, 변위 39.50 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(2)의 경우는 전단하중 26.60 kN, 변위 4.53 mm 일 때 콘크리트에 균열이 발생하였다. 전단하중 43.68 kN, 변위 14.34 mm 일 때 앵커 본체와 지거의 마찰음이 발생하였다. 최대 전단하중은 62.72 kN 이었으며 이 때 변위는 32.16 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 50.12 kN, 변위 34.13 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다.

S-08-05-20-01 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 강제 파괴가 발생하였고 최대 전단하중이 비슷하게 나타났지만 변위는 차이를 보였다. 실험(1)은 전단하중 19.60 kN, 변위 6.87 mm 일 때 지거와 콘크리트의 마찰음이 발생하였고 실험이 끝날 때까지 계속 발생하였다. 전단하중 43.40 kN, 변위 14.94 mm 일 때 콘크리트에 균열이 발생하였고, 전단하중 50.96 kN, 변위 21.32 mm 일 때 콘크리트에 추가 균열이 발생하였다. 최대 전단하중은 67.20 kN 이었으며 이 때 변위는 36.03 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 61.32 kN, 변위 37.47 mm 일 때

**Table 4. Result of Anchor Interval Parameter for 18 MPa**

Name of experiment	Shear load (kN)	Displacement (mm)	Failure mode
S-08-20-20-01-1	66.36	24.69	steel
S-08-20-20-01-2	65.80	25.30	steel
S-08-10-20-01-1	65.52	34.43	steel
S-08-10-20-01-2	62.72	32.16	steel
S-08-05-20-01-1	67.20	36.03	steel
S-08-05-20-01-2	65.52	47.72	steel



**Fig. 6. Displacement Curve of Anchor Interval for 18 MPa**

강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(2)는 전단하중 20.72 kN, 변위 2.90 mm 일 때 지거와 콘크리트의 마찰음이 발생하여 실험이 끝날 때까지 계속 되었다. 전단하중 33.32 kN, 변위 4.70 mm 일 때 콘크리트에 균열이 발생하였고, 전단하중 52.92 kN, 변위 14.83 mm 일 때 콘크리트에 추가 균열이 발생하였다. 최대 전단하중은 65.52 kN 이었으며 이 때 변위는 47.42 mm 였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 63.56 kN, 변위 48.79 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(1)의 결과는 실험(2)보다 변위가 작게 나타났지만 모두 강제 파괴가 일어났다. 변위가 다르게 나타난 이유는 앵커간격이 좁아 실험 당시 발견되지 않았던 미세 균열로 인해 실험(2)의 콘크리트 표면 파괴 면적이 실험(1)보다 조금 더 크게 발생한 것으로 추정된다. 실험(1)의 그래프를 보면 초반에 하중이 잠깐 감소한 것을 볼 수 있는데 앵커가 콘크리트와 밀착이 되어 압축 하중에 의해 콘크리트 표면이 파괴가 일어나면서 하중이 잠시 감소한 것으로 추정된다. 실험(2)의 실험 결과 그래프를 보면 변위가 발생하다가 하중이 다시 증가하는 현상을 볼 수 있다. 콘크리트에 균열이 생기면서 변위가 크게 발생하다가 더 이상 콘크리트에 균열이 진전되지 않고 앵커 본체가 전단하중을 받으면서 다시 하중이 증가한 것으로 추정된다.

3.2.2 30 MPa에서의 실험결과 분석

Fig. 7은 앵커간격이 매입깊이의 2.0, 1.0, 0.5배 경우의 실험결과 그림이다. S-08-10-20-03 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 강제 파괴가 발생하였고 최대 전단하중이 비슷하게 나타났지만 변위는 차이를 보였다. 실험(1)은 전단하중 24.64 kN, 변위 4.29 mm 일 때 지거와 콘크리트의 마찰음이 발생하여 실험이 끝날 때까지 계속 되었다. 전단하중 49.84 kN, 변위 7.84 mm 일 때 콘크리트에 균열이 발생하였으며 최대 전단하중은 67.76 kN이고 이 때 변위는 20.52 mm 였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 64.12 kN, 변위 24.00 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(2)는 전단하중 46.20 kN, 변위 3.51 mm 일 때 지거와 콘크리트의 마찰음이 발생하여 실험이 끝날

때까지 계속 되었다. 전단하중 47.88 kN, 변위 4.33 mm 일 때 콘크리트에 균열이 발생하였다. 전단하중 62.44 kN, 변위 9.87 mm 일 때 콘크리트와 금속의 마찰로 인한 소음이 발생하였고, 전단하중 66.92 kN, 변위 12.08 mm 일 때 앵커 본체가 콘크리트와 밀착되어 콘크리트 표면과의 마찰에 의한 마찰음이 발생되었다. 최대 전단하중은 68.32 kN이였으며 이 때 변위는 14.97 mm 였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 59.08 kN, 변위 17.79 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(1)은 실험(2)보다 변위가 더 크게 나타난 것을 알 수 있다. 앵커간격이 좁아 미세한 균열로 인해 콘크리트 표면의 파괴가 조금 더 발생하면서 변위가 더 생긴 것으로 추정된다.

S-08-05-20-03 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 강제 파괴가 발생하였고 최대 전단하중 및 변위가 비슷하게 나타났다. 실험(1)의 경우 전단하중 37.52 kN, 변위 3.01 mm 일 때 지거와 콘크리트의 마찰음이 발생하여 실험이 끝날 때까지 계속 되었다. 전단하중 49.56 kN, 변위 6.83 mm 일 때 콘크리트에 균열이 발생하였다. 최대 전단하중은 68.04 kN이였으며 이 때 변위는 22.69 mm 였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 65.80 kN, 변위 23.05 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(2)의 경우는 전단하중 49.00 kN, 변위 8.31 mm 일 때 콘크리트에 균열이 발생하였다. 최대 전단하중은 68.32 kN이였

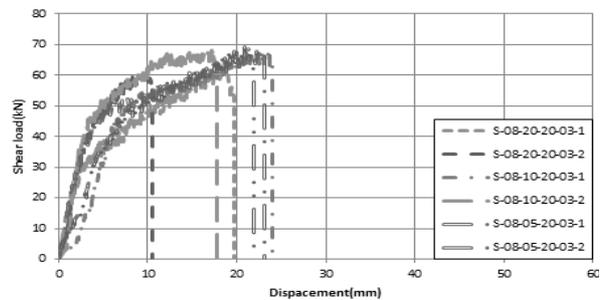


Fig. 7. Displacement Curve of Anchor Interval for 30 MPa



Fig. 8. Failure Mode for Anchor Interval

Table 5. Result of Anchor Interval Parameter for 30 MPa

Name of experiment	Shear load (kN)	Displacement (mm)	Failure mode
S-08-20-20-03-1	63.56	18.66	steel
S-08-20-20-03-2	61.60	9.95	steel
S-08-10-20-03-1	67.76	20.52	steel
S-08-10-20-03-2	68.32	14.97	steel
S-08-05-20-03-1	68.04	22.69	steel
S-08-05-20-03-2	68.32	20.16	steel

며 이 때 변위는 20.16 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 61.88 kN, 변위 21.86 mm 일 때 강제 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다.

### 3.3 세트앵커의 연단거리에 대한 결과 및 분석

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

#### 3.3.1 18 MPa에서의 실험결과 분석

Fig. 9는 연단거리가 매입깊이의 2.0, 1.0, 0.5배 경우의 실험결과 그림이다. S-08-20-10-01 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 콘크리트 파괴가 발생하였고 최대 전단하중 및 변위가 비슷하게 나타났다. 실험(1)은 전단하중 26.04 kN, 변위 4.42 mm 일 때 콘크리트에 균열이 발생하였고 최대 전단하중은 27.72 kN이며 이 때 변위는 4.51 mm이었다. 이후 하중이 감소하였고 전단하중 18.76 kN, 변위 5.63 mm 일 때 콘크리트에 균열이 확대되었으며 위치는 반력 지지대를 좌측 기준으로 앵커 상단, 하단에 발생하였다. 전단하중 10.64 kN, 변위 8.80 mm 일 때 균열이 벌어지는 것을 관찰하였다. 전단하중 10.64 kN, 변위 10.63 mm 일 때 콘크리트 측면 좌측 하단에 균열이 관찰되었으며 기존 균열과 이어졌다. 전단하중 13.16 kN, 변위 17.12 mm 일 때 콘크리트 측면 우측 하단에 균열이 관찰되었으며 기존 균열과 이어졌다. 전단하중 13.44 kN, 변위 18.61 mm 일 때 콘크리트 측면 하단에 가로 방향으로 균열이 발생하였다. 전단하중 16.80 kN, 변위 47.73 mm 일 때 콘크리트가 파괴되며 실험이 종료되었다.

실험(2)의 최대 전단하중은 27.16 kN 이었으며 이 때 변위는 3.93 mm였다. 전단하중 24.36 kN, 변위 4.45 mm 일 때 콘크리트에 균열이 관찰되었으며 위치는 반력 지지대를 좌측 기준으로 앵커 하단에 발생하였다. 전단하중 10.64 kN, 변위 7.89 mm 일 때 콘크리트에 균열이 반력 지지대를 좌측 기준으로 앵커 상단에 발생하였다. 전단하중 10.36 kN, 변위 11.63 mm 일 때 균열이 벌어지는 것을 관찰하였다. 전단하중 10.92 kN, 변위 12.28 mm

일 때 콘크리트 측면 우측 하단에 균열이 관찰되었으며 기존 균열과 이어졌다. 전단하중 12.88 kN, 변위 15.51 mm 일 때 콘크리트 측면 좌측 하단에 균열이 관찰되었으며 기존 균열과 이어졌다. 전단하중 12.88 kN, 변위 16.92 mm 일 때 콘크리트 측면 하단에 가로 방향으로 균열이 발생하였다. 전단하중 15.12 kN, 변위 36.72 mm 일 때 측면 콘크리트가 파괴되었다. 전단하중 18.76 kN, 변위 47.78 mm 일 때 콘크리트가 파괴되며 실험이 종료되었다.

S-08-20-05-01 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 콘크리트 파괴가 발생하였고 최대 전단하중 및 변위가 비슷하게 나타났다. 실험(1)의 최대 전단하중은 7.00 kN이었으며 이 때 변위는 2.11 mm였다. 전단하중 5.04 kN, 변위 3.74 mm 일 때 균열이 관찰되었으며 균열의 위치는 반력 지지대를 왼쪽 기준으로 앵커의 상단, 하단에 발생하였다. 전단하중 4.76 kN, 변위 12.33 mm 일 때 콘크리트 측면에 균열이 관찰되었으며 기존 균열과 이어져 측면 하단 방향으로 발생하였다. 전단하중 5.88 kN, 변위 14.73 mm 일 때 콘크리트 측면에 균열이 관찰되었으며 좌측 상단 균열과 이어져 측면 하단 방향으로 발생하여 위의 균열과 이어졌다. 전단하중 8.12 kN, 변위 18.35 mm 일 때 콘크리트 측면에 균열이 관찰되었으며 우측 콘크리트 끝 부분까지 발생하였다. 전단하중 9.24 kN, 변위 19.11 mm 일 때 측면 콘크리트의 일부가 파괴되며 떨어졌다.

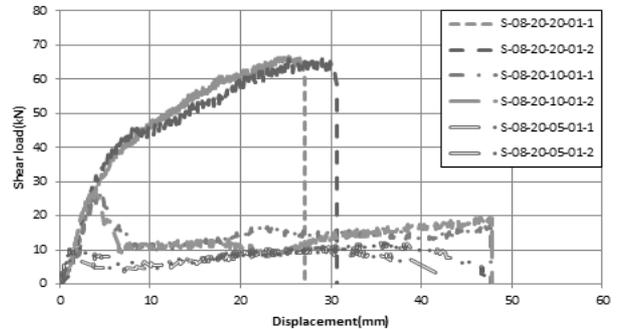


Fig. 9. Displacement Curve of Edge Distance for 18 MPa

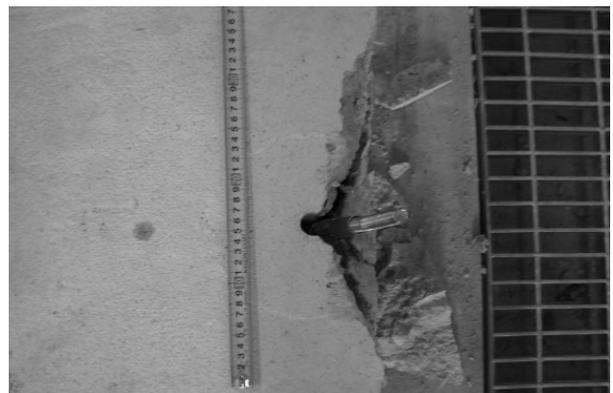


Fig. 10. Failure Mode for Edge Distance

Table 6. Result of Edge Distance Parameter for 18 MPa

Name of experiment	Shear load (kN)	Displacement (mm)	Failure mode
S-08-20-20-01-1	66.36	24.69	steel
S-08-20-20-01-2	65.80	25.30	steel
S-08-20-10-01-1	27.72	4.51	concrete
S-08-20-10-01-2	27.16	3.93	concrete
S-08-20-05-01-1	7.00	2.11	concrete
S-08-20-05-01-2	10.64	1.66	concrete

이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 1.96 kN, 변위 42.11 mm 일 때 콘크리트 파괴가 일어났으며 실험이 종료되었다. 실험(2)는 전단하중 8.86 kN, 변위 1.11 mm 일 때 균열이 관찰되었으며 균열의 위치는 반력 지지대를 왼쪽 기준으로 앵커의 상단, 하단에 발생하였다. 최대 전단하중은 10.64 kN이었으며 이 때 변위는 1.66 mm였다. 전단하중 9.52 kN, 변위 1.93 mm 일 때 콘크리트 측면 좌측에 균열이 관찰되었으며 기존 균열과 이어져 측면 하단 방향으로 발생하였다. 전단하중 9.24 kN, 변위 2.31 mm 일 때 콘크리트 측면 우측에 균열이 관찰되었으며 기존 균열과 이어져 측면 하단 방향으로 발생하였다. 전단하중 7.28 kN, 변위 3.81 mm 일 때 콘크리트 측면 좌측 하단에 균열이 관찰되었으며 기존 균열과 이어졌다. 전단하중 6.44 kN, 변위 11.29 mm 일 때 콘크리트 측면 우측 하단에 균열이 관찰되었으며 기존 균열과 이어졌고, 균열이 많이 벌어졌다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 6.44 kN, 변위 44.44 mm 일 때 측면 콘크리트의 일부가 파괴되며 떨어졌다. 전단하중 4.76 kN, 변위 46.85 mm 일 때 콘크리트가 파괴되며 실험이 종료되었다.

3.3.2 30 MPa에서의 실험결과 분석

Fig. 11은 연단거리가 매입깊이의 2.0, 1.0, 0.5배 경우의 실험결과 그림이다. S-08-20-10-03 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모두 콘크리트 파괴가 발생하였고 최대 전단하중은 비슷하게 나타났지만 변위는 차이를 보였다. 실험(1)은 전단하중 42.00 kN, 변위 5.43 mm 일 때 콘크리트에 균열이 발생하였다. 최대 전단하중은 48.44 kN이었으며 이 때 변위는 6.10 mm였다. 이후 하중이 서서히 감소하였고 전단하중 39.48 kN, 변위 7.02 mm 일 때 콘크리트가 파괴되며 실험이 종료되었다.

실험(2)는 전단하중 48.16 kN, 변위 6.04 mm 일 때 콘크리트에 균열이 발생하였다. 최대 전단하중은 50.40 kN이었으며 이 때 변위는 7.87 mm였다. 전단하중 33.88 kN, 변위 9.59 mm 일 때 콘크리트 단락이 생기며 콘크리트 파괴가 발생하였다. 전단하중 27.72 kN, 변위 11.34 mm 일 때 반력 지지대를 좌측 기준으로 앵커 상단에 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 전단하중 27.16 kN, 변위 11.73 mm 일 때 반력 지지대를 좌측 기준으로 앵커 하단에 균열이 발생한 것을 관찰하였다. 전단하중 40.88 kN, 변위 21.05 mm 일 때 위의 균열이 길어진 것을 관찰하였다. 전단하중 38.92 kN, 변위 32.05 mm 일 때 측면 콘크리트가 파괴되었다. 전단하중 17.92 kN, 변위 45.22 mm 일 때 실험이 종료되었다. 실험(2)의 결과는 콘크리트 파괴를 보였지만 앵커는 완전히 뽑히지 않았고 실험(1)은 콘크리트가 앵커 하단까지 한 번에 파괴가 일어나면서 실험이 끝났다. 실험(2)는 콘크리트가 앵커 하단까지는 파괴가 일어나지 않아 하중이 급격히 감소하면서 변위가 더 많이 발생한

것으로 추정된다. 실험 결과 그래프를 보면 콘크리트 파괴 당시의 전단하중 및 변위가 비슷한 것으로 보아 실험(2)는 콘크리트의 국부적인 특성에 의해 변위가 더 발생한 것으로 추정된다.

S-08-20-05-03 실험체의 실험(1), 실험(2)의 결과 모든 실험은 콘크리트 파괴가 발생하였고 최대 전단하중 및 변위가 비슷하게 나타났다. 실험(1)의 최대 전단하중은 17.92 kN이었으며 이 때 변위는 3.17 mm였다. 전단하중 13.72 kN, 변위 5.63 mm 일 때 균열이 관찰되었으며 균열의 위치는 반력 지지대를 왼쪽 기준으로 앵커의 상단, 하단 부분에 발생하였다. 전단하중 10.36 kN, 변위 6.59 mm 일 때 콘크리트 측면 좌측에 균열이 관찰되었으며 하단 방향으로 이어졌다. 전단하중 11.76 kN, 변위 7.47 mm 일 때 기존의 균열이 벌어지는 것을 관찰하였다. 전단하중 10.64 kN, 변위 9.15 mm 일 때 콘크리트 측면 우측에 균열이 관찰되었으며 하단 방향으로 이어졌다. 전단하중 7.28 kN, 변위 10.36 mm 일 때 콘크리트 측면 하단에 균열이 관찰되었으며 측면 좌, 우측의 균열이 서로 이어졌다. 전단하중 8.40 kN, 변위 12.45 mm 일 때 콘크리트 측면의 일부가 떨어졌다. 전단하중 15.12 kN, 변위 49.55 mm 일 때 실험이 종료되었다. 실험(1)의 결과는 콘크리트 파괴가 일어났지만 앵커가 완전히 뽑히지 않았다. 실험(2)의 최대 전단하중은 17.92 kN이었으며 이 때 변위는 3.96 mm였다. 전단하중 9.24 kN, 변위 5.42 mm 일 때 균열이 관찰되었으며 균열의 위치는 반력 지지대를 왼쪽 기준으로 앵커의 상단, 하단 부분에 발생하였다. 전단하중 11.48 kN, 변위 7.68 mm 일 때 콘크리트

Table 7. Result of Edge Distance Parameter for 30 MPa

Name of experiment	Shear load (kN)	Displacement (mm)	Failure mode
S-08-20-20-03-1	63.56	18.66	steel
S-08-20-20-03-2	61.60	9.95	steel
S-08-20-10-03-1	48.44	6.10	concrete
S-08-20-10-03-2	50.40	7.87	concrete
S-08-20-05-03-1	17.92	3.17	concrete
S-08-20-05-03-2	17.92	3.96	concrete

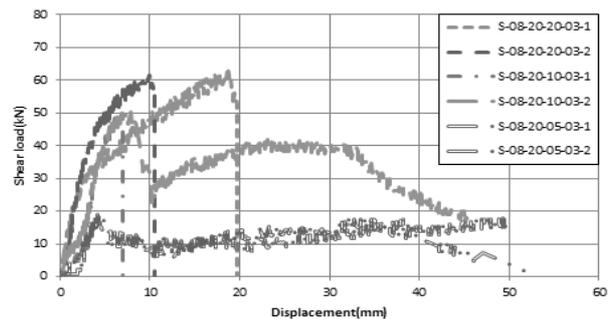


Fig. 11. Displacement Curve of Edge Distance for 30 MPa

측면 좌, 우측에 균열이 관찰되었으며 하단 방향으로 이어졌다. 전단하중 10.08 kN, 변위 16.05 mm 일 때 콘크리트 측면 하단에 균열이 관찰되었으며 측면 좌, 우측의 균열이 서로 이어졌다. 전단하중 9.52 kN, 변위 16.62 mm 일 때 콘크리트 측면 하단의 균열이 벌어지는 것을 관찰하였다. 전단하중 10.36 kN, 변위 41.34 mm 일 때 콘크리트 측면의 일부가 떨어졌다. 전단하중 0.84 kN, 변위 52.61 mm 일 때 콘크리트가 파괴되며 실험이 종료되었다.

#### 4. 결론

콘크리트 블록에 매입된 세트앵커의 전단강도를 평가하기 위하여 앵커의 매입깊이, 앵커간격, 연단거리 및 콘크리트 강도를 변수로 한 전단 실험을 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 30 MPa 콘크리트 블록에서의 매입깊이 변수에 대한 결과는 모두 강재 파괴가 발생하였다. 매입깊이가 얇은 경우 앵커와 콘크리트의 접촉 면적이 작고 콘크리트 표면과의 거리도 짧았지만 콘크리트의 강도가 강해 강재 파괴가 발생한 것으로 판단된다. 동일한 매입깊이 변수에 대한 18 MPa 콘크리트 블록에서의 실험 결과는 매입깊이가 얇은 경우 뿔힘, 프라이 아웃(pry out) 파괴가 발생하였다. 콘크리트의 강도가 낮은 경우 강재 파괴의 하중을 받기 이전에 앵커 밑바닥의 콘크리트에서 파괴가 발생한 것으로 판단된다. 매입깊이가 얇을수록 콘크리트 강도의 영향을 크게 받는 것으로 판단된다.
- (2) 앵커간격 변수의 실험 결과를 살펴보면 콘크리트 강도 18 MPa, 30 MPa 모두 강재 파괴의 결과를 보였다. 콘크리트 강도 18 MPa 일 때 변위가 더 크게 나타났지만 이것은 콘크리트 표면의 콘크리트 강도가 낮아 표면의 파괴가 조금 더 크게 발생하면서 변위가 커진 것으로 판단된다. 앵커간격이 매입깊이의 0.5배인 경우 콘크리트 강도 18 MPa, 30 MPa 모두 인접한 앵커 쪽으로 균열이 발생하였지만 콘크리트 파괴가 발생하기 이전에 강재가 극한하중을 받게 되면서 강재 파괴가 발생하였다.
- (3) 연단거리 변수는 전단 실험에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 연단거리가 충분히 떨어진 매입깊이의 2배인 경우의 실험 결과를 보면 콘크리트 강도 18 MPa, 30 MPa 모두 강재 파괴가 발생하였다. 하지만 연단거리 변수가 매입깊이 이하인 경우에는 모두 측면이 파열되는 콘크리트 파괴가 발생하였다. 앵커에 가해지는 하중 방향으로 콘크리트의 면적이 작아 콘크리트 파괴가 먼저 발생한 것으로 판단된다. 전단하중을 받는 앵커의 설계를 할 때에는 충분한 연단거리를 확보하는 것이 중요하다고 판단된다.

#### References

ACI Committee 349. (1990). "Code requirements for nuclear safety related concrete structures (ACI 349-01): Appendix B Anchoring to Concrete." pp. 80-86.

Hwang, Y. S. (2010). *A study on the fracture resistance characteristics of post-installed anchor*, M.S. Dissertation, Seoul National University of Science and Technology.

Jin, S. H. (2011). *Tension and shear strength valuation of large size concrete anchor bolt*, M.S. Dissertation, Pusan National University.

Kim, J. S., Kwon, M. H., Seo, H. S. and Park, J. H. (2013). "Performance evaluation and analysis model for the post-installed anchor." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 13, No. 2, pp. 89-95 (in Korean).

Kim, S. Y., Han, D. J. and Shin, C. H. (2005). "Strength of anchors under load applied angles." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 5, No. 1, pp. 69-76 (in Korean).

Kim, S. Y. and Kim, K. S. (2003). "Shear strength of anchors installed in uncracked and unreinforced concrete." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Architectural Institute of Korea, Vol. 19, No. 9, pp. 69-78 (in Korean).

Ko, J. Y., Kim, S. Y., Kim, Y. H., Seo, S. Y. and Kim, K. S. (2002). "Shear strength of single anchors in uncracked and unreinforced concrete." *Proceedings of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, Architectural Institute of Korea, Vol. 22, No. 2, pp. 197-200 (in Korean).

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." *Proceedings of Magazine of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol. 2009, No. 5, pp. 97-98 (in Korean).

Moon, I. H. and Lee, N. H. (2000). "Break-out strength of anchor bolt based on concrete fracture model." *Proceedings of Conference on Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, pp. 801-804 (in Korean).

Nam, Y. H. (2006). *Development of automated design system for concrete anchor systems*, M.S. Dissertation, Hanyang National University.

Son, J. W. (2002). *Fracture analysis of concrete anchor systems subjected to shear loads*, M.S. Dissertation, Yonsei University.

Werner, F. and Rolf, E. (1989). *Tragverhalten von Befestigungsmitteln im gerissenen beton bei querzugbeanspruchung*, Report 1/41-89/15 Universtat Stuttgart.

Werner, F., Rolf, E. and John E. B. (1995). "Concrete capacity design(CCD) approach for fastening to concrete." *ACI Structural Journal*, Vol. 92, No. 1, pp. 73-94.

Wiewel, H. (1991). *Design guidelines for anchorage to concrete*, ACI SP-130, pp. 1-18.

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*, KSCE, Vol. 26, No. 3, pp. 555-563 (in Korean).