

저하중용 후설치 세트앵커의 전단파괴거동에 관한 매개변수 연구

A Parameter Study on the Shear Failure Behavior of Post-installed Set Anchor for Light Load

엄 찬 희¹⁾ 유 승 운^{2)*}
Chan-Hee Um Seung-Woon Yoo

Abstract

Post-installed concrete set anchors are installed after the concrete hardened. These anchors increasing usage in development of construction equipment and flexible construction. The anchor loaded in shearing exhibits various failure modes such as steel failure, concrete failure, concrete pryout, depending on the shear strength of steel, the strength of concrete, edge distance and anchor interval, etc.. In this study, the objective is to investigate the effects of the variations like anchor embedment depth, edge distance and concrete strength on experimental and finite element analysis of shear failure behavior of post-installed concrete set anchor for light load embedded in concrete. The results of embedment depth experiments show that concrete strength has much affection on the shallow embedment depth. Concrete strength has no much affection with anchor interval and edge distance parameter and both experimental results occurred same failure mode. By comparing the experimental results that occurred steel failure mode show that as strong as concrete strength are the displacement results are small.

Keywords : Concrete set anchor for light load, Finite element analysis, Shear failure, Embedment depth, Edge distance

1. 서 론

콘크리트용 앵커시스템은 크게 선설치 앵커 (pre-installed anchor)와 후설치 앵커 (post-installed anchor)로 대별되는데 후설치 앵커는 콘크리트가 경화된 후에 설치되는 앵커를 말하며 시공 장비의 발달과 위치선정이 용이하다는 장점으로 새로운 구조물뿐만 아니라 구조물의 보수, 보강 등에 널리 사용된다. 그러나 천공 상태에 따라 성능에 영향을 받을 수 있으며 콘크리트 구조물과의 일체성이 확보되지 않아 거동이 불확실한 단점이 있다. 일반적으로 콘크리트에 매입되어 전단하중을 받는 후설치 앵커의 대표적인 파괴모드는 강재 파괴, 콘크리트 파열파괴, 콘크리트 프라이아웃 (pryout)파괴 등이 있다.

현재 저하중용 세트앵커에 대한 실험적 자료는 많이 부족하다. 국내외 연구로는 앵커의 전단강도 설계식 ACI 318-02 및 EOTA (European organization for technical approval)에서 앵커의 인장강도에 유효단면적을 곱하는 형태로 제시하

고 있다. 그리고 콘크리트 단부파괴강도 설계식은 콘 각도를 일정하게 가정하고 앵커의 내력을 산정하는 이론인 ACI 349-90 (45 degree method)과 CCD (concrete capacity design) 방법이 널리 사용되고 있다 (Werner et al., 1995). 고하중용 앵커와 웨지 앵커의 앵커 파괴 및 콘크리트 파괴모드에 따른 기존의 앵커 설계식을 연구하였고 (Kim et al., 2005), 앵커 간격 및 하중방향에 따른 전단실험을 통하여 CCD 방법 및 EOTA 설계식은 합리적인 설계방법임을 규명하였다 (Kim, 2003). 후설치 앵커의 설계강도를 결정하기 위한 앵커의 인장 및 전단 시험 방법을 제안하여 검증실험을 수행함으로써 시험방법을 정립하였고 (Lee et al., 2009), 앵커의 직경, 매입깊이, 연단거리와 앵커간격이 전단성능에 미치는 영향을 평가하여 전단하중의 증가율은 앵커의 직경 및 매입깊이의 증가에 영향을 있음을 제시하였으며 (Jang et al., 2004; Kim et al., 2013), 앵커의 연단거리가 짧은 경우 파괴모드는 콘크리트 단부파괴가 지배적이며 연단거리가 큰 경우에는 앵커

1) 정회원, 가톨릭관동대학교 토목공학과 석사과정
2) 정회원, 가톨릭관동대학교 토목공학과 교수, 교신저자

* Corresponding author : swyoo@kd.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2015년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2015년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

파괴 또는 콘크리트 파괴가 지배적인 것으로 제시하였다 (Ko et al., 2002). 후설치 세트앵커 (set anchor)의 전단성능을 여러 변수에 대해 실험하여 각각의 파괴거동에 대한 분석을 수행하였다 (Um and Yoo, 2014).

본 연구에서는 매입깊이, 연단거리 및 콘크리트 강도를 변수로 한 세트앵커의 실험 및 유한요소 해석 결과를 통하여, 시중에서 가장 경제적이며 널리 사용하고 있는 콘크리트에 매입된 저하중용 후설치 세트앵커의 전단 파괴거동에 미치는 여러 변수에 대한 매개변수 연구를 통해 그 영향의 정도를 규명하는 것을 그 목적으로 한다.

2. 실험개요

2.1 실험시편 설계 및 제작

본 실험은 저하중용 후설치 세트앵커시스템에 대한 부분적 실험으로, 앵커 매입깊이 변수는 앵커 직경의 10, 8, 6, 4 배의 네 가지 경우로 실험하였다. 앵커간격 및 연단거리는 동일하게 매입깊이의 2.0, 1.0, 0.5배이며 콘크리트 설계압축강도는 18, 30MPa의 경우에 대해 실험을 하였다. Table 1은 실험체 일람표이며, 실험체 명명법은 다음과 같다.

S-aa-bb-cc-dd, 여기서 aa는 세트앵커의 매입깊이, bb는 앵커간격, cc는 연단거리, dd는 콘크리트의 설계압축강도를 나타낸다.

Table 1 List of Experiment

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

2.2 실험방법

본 실험에서는 직경 16mm 국내산 세트앵커 (set anchor)를 사용하여 전단 실험을 실시하였고, 앵커의 재질은 SS 400 탄소강이며 저하중용으로 시중에서 많이 사용하는 앵커이다. 앵커는 직경 21.5mm 드릴비트로 앵커 구멍을 천공하여 설치하였다. Fig. 1은 테스트 베드 (2.6m×2.0m×0.4m)를 제작하는 사진이며, 노출된 강봉들은 전단력을 가력할 때 반력벽으로 이용하였다.

Fig. 2는 전단 실험의 전경이며 하중 측정을 위한 로드 셀 (load cell)을 설치한 후 하이드로릭 펌프 (hydraulic hand pump)를 이용하여 하중을 재하하였으며, 변위를 측정하기 위하여 100mm LVDT를 양쪽에 두 개 설치하여 데이터로거 (data logger)를 이용하여 하중 및 변위량을 측정하였다.

3. 실험 및 유한요소 해석결과 비교

3.1 유한요소해석

3.1.1 개요

세트앵커 전단실험에 대한 유한요소 해석을 수행하고 각 전단실험 결과와 수치해석 결과를 비교 분석하였다.

수치해석은 전단실험 시 실험체의 변수인 매입깊이, 연단거리, 콘크리트 강도에 대하여 전단파괴거동에 대해 수행하였으며, 각각의 실험 변수를 비교, 검토할 수 있도록 하였다. 수치해석 연구를 위하여 유한요소해석 프로그램인 LUSAS



Fig. 1 Test Bed for Experiment



Fig. 2 Photo of Experiment

Table 2 Property of Material

Material	Modulus of elasticity (GPa)	Plastic (MPa)	Poisson ratio
concrete	25.93	28.4	0.2
steel	205	400	0.3

(FEA, 2013)를 사용하였고, 3차원 모델을 구성하고 비선형 해석을 수행하였다. 콘크리트 및 강재의 비선형 효과를 동시에 고려하였으며, 실험과 동일한 모델을 바탕으로 수치해석을 실시하고 분석하였다.

3.1.2 재료 비선형 모델

콘크리트의 솔리드 요소에 적용시킨 구성 모델은 A. D. Jefferson의 craft concrete model 94를 이용하여 콘크리트의 응력-변형률 관계를 결정하였다. 이 모델의 성능은 직간접적인 파괴 시험, 파쇄/균열/다른 재료와의 결합 등이 거동에 미치는 영향이 큰 철근콘크리트에 대한 전단/수직 응력시험 등을 통해 검증되었다 (Jefferson, 2003). 앵커에 적용된 강재의 실질적인 응력-변형률 관계를 모사하기 위하여 강재의 비선형을 고려하여 완전 소성 모델을 사용하였다. 수치해석에 사용된 콘크리트와 앵커의 재료 물성은 Table 2와 같다.

3.1.3 해석모델 및 경계조건

앵커와 콘크리트 모델링에는 LUSAS에서 제공하는 8절점 솔리드 요소 (HX8M)를 사용하였으며, 이때 콘크리트 블록과 앵커 사이에는 절점을 공유하지 않은 별개의 구조로 모델링하였다. 앵커와 콘크리트의 두 요소가 접촉되는 접합면은 LUSAS의 스무스 컨택조인트 (smooth contact joint)를 사용하였다. 앵커와 콘크리트 접촉부에서는 앵커를 주표면 (master), 콘크리트를 부표면 (slave)으로 적용하였다. 초기 gap을 설정하여 실제 실험과 유사하게 모델링하였고, 스무스 컨택조인트 요소의 일반적인 응력-변형률 관계는 Fig. 3과 같다.

3.2 수치해석 결과 및 분석

3.2.1 세트앵커의 매입깊이 변수 수치해석

세트앵커의 매입깊이 영향을 분석하기 위해 앵커 직경의 10, 8, 6, 4배의 매입깊이에 따른 실제 전단파괴거동과 수치해석 거동의 변화를 비교 분석하였다.

Fig. 4는 매입깊이 변수 실험 결과와 수치해석 결과의 전단파괴거동을 비교한 그래프이다. 실험 결과와 수치해석 결과의 하중-변위 그래프의 기울기가 유사하게 나타났다. 대체

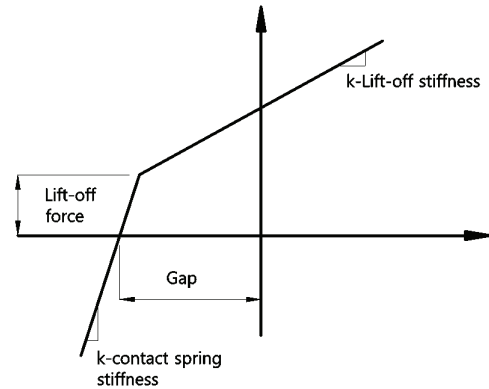


Fig. 3 Smooth Contact Joint Elements of the Stress-Strain Curve

로 그래프의 기울기가 유사하게 나타났지만 Fig. 4(c)를 살펴보면 초기 탄성 구간은 유사하나 실험 결과 그래프에 비해 수치해석 그래프의 기울기가 낮게 나타났으며, Fig. 4(d)의 경우 최대 하중이 약 15kN 차이가 발생하였다.

Fig. 5는 수치해석 결과이며 콘크리트와 앵커의 응력분포를 나타낸 것이다. 수치해석 시 콘크리트의 응력분포를 살펴보면 콘크리트 상부에 앵커의 접촉면에 응력이 집중되는 것으로 나타났으며 매입깊이 변수에 상관없이 콘크리트부에서는 응력 및 형상의 차이가 없었지만 앵커부에서는 매입깊이가 깊을수록 앵커의 응력 및 형상의 변화가 크게 나타났다.

3.2.2 세트앵커의 연단거리 변수 수치해석

세트앵커의 연단거리 영향을 분석하기 위해 매입깊이의 2.0, 1.0, 0.5배의 연단거리에 따른 실제 전단파괴거동과 수치해석 거동의 변화를 비교 분석하였다.

Fig. 6을 살펴보면 초기 그래프의 기울기에 차이를 보였다. 실험체의 세팅 시 접촉이 완벽하지 않아 변위가 더 발생하여 생긴 실험오차로 판단된다. 연단거리가 256mm인 경우 실험과 수치해석 결과는 모두 강재가 극한하중을 받아 강재 파괴가 발생하였지만, 연단거리 변수가 128mm, 64mm인 경우는 콘크리트 파괴가 발생하였다. Fig. 6의 그래프를 살펴보면 실험에서는 최대 전단하중 이후 하중이 유지되었지만 수치해석 결과는 최대 전단하중 이후 해석이 종료되었다. 수치해석에 사용된 프로그램이 미세한 균열은 해석이 가능하나 균열이 커질 경우에는 본 프로그램의 사용은 제한적인 것으로 사료된다.

Fig. 7은 수치해석 결과이며 콘크리트와 앵커 응력분포를 살펴보면 콘크리트 블록에서 앵커와 콘크리트의 접촉면에 응력이 집중되는 현상이 나타났다. 연단거리 변수 128mm, 64mm일 때 수치해석 결과 앵커에 가해지는 하중 방향으로

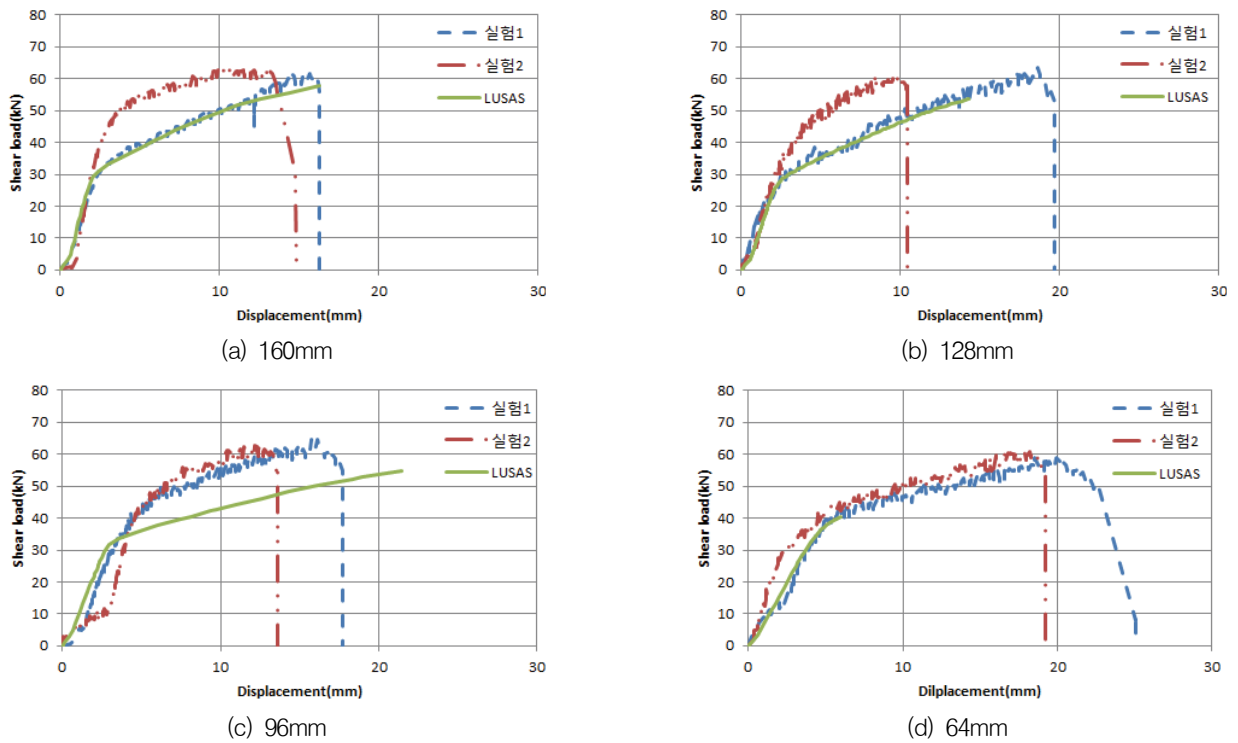


Fig. 4 Numerical Results for Embedment Depth

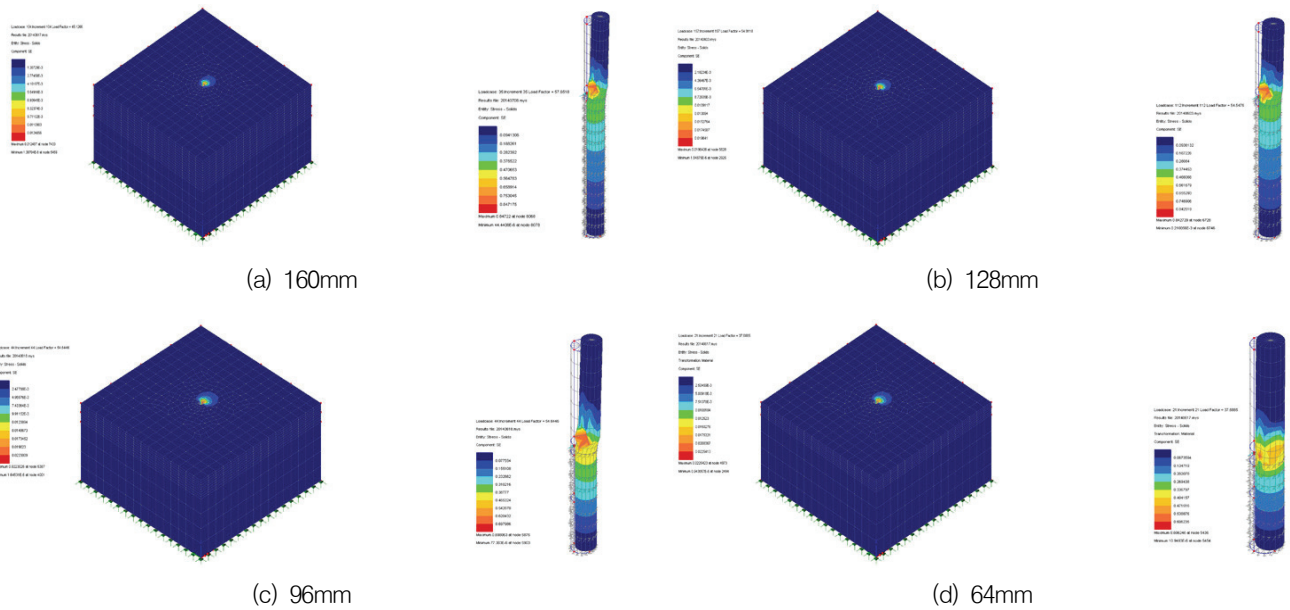


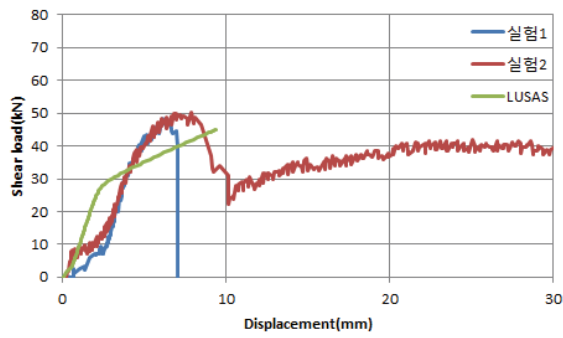
Fig. 5 Failure Mode for Embedment Depth

콘크리트의 면적이 작아 콘크리트 블록에 생긴 균열이 커지면서 해석이 종료되었다. 실험 및 수치해석 결과 최대 전단 하중 및 파괴모드가 유사하게 나타났다.

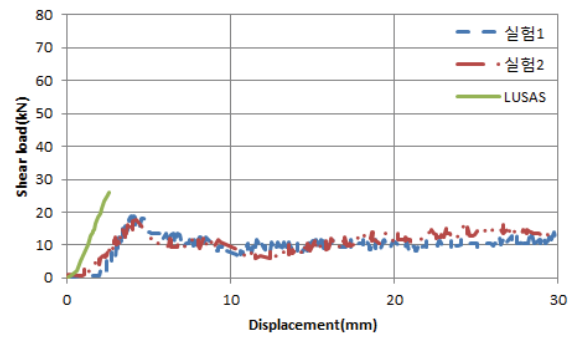
4. 저하중용 세트앵커의 매개변수 분석

4.1 세트앵커의 매입깊이 매개변수 분석

세트앵커의 매입깊이 영향을 분석하기 위하여 앵커 직경

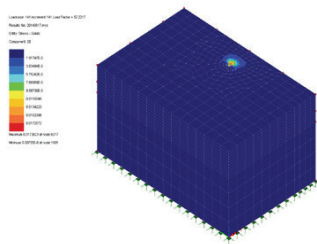


(a) 128mm

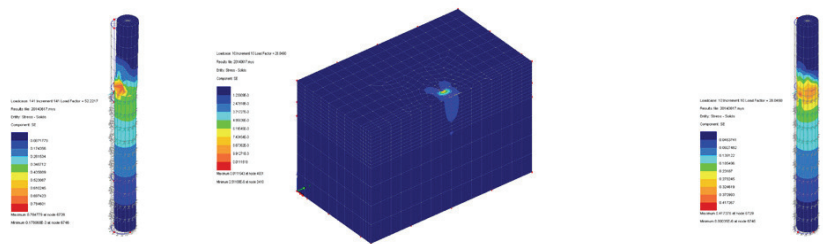


(b) 64mm

Fig. 6 Numerical Results for Edge Distance



(a) 128mm



(b) 64mm

Fig. 7 Failure Mode for Edge Distance

Table 3 Summary for Embedment Depth

Name of experiment	shear load (kN)	Average (kN)	displacement (mm)	Average (mm)	Concrete strength (MPa)	Failure mode
S-10-20-20-01	62.16	62.44	20.43	25.23	18	steel
	62.72		30.02			
S-08-20-20-01	66.36	66.08	24.69	25.00	18	steel
	65.80		25.30			
S-06-20-20-01	59.64	58.66	29.14	27.55	18	steel
	57.68		25.95			
S-04-20-20-01	38.64	39.48	13.29	15.07	18	pryout+pullout
	40.32		16.84			
S-10-20-20-03	61.60	62.02	15.66	13.00	30	steel
	62.44		10.34			
S-08-20-20-03	63.56	62.58	18.66	14.31	30	steel
	61.60		9.55			
S-06-20-20-03	64.68	63.84	16.10	14.33	30	steel
	63.00		12.56			
S-04-20-20-03	59.08	60.20	19.96	19.14	30	steel
	61.32		18.31			

의 10, 8, 6, 4배의 매입깊이를 실험 변수로 선정하여 실험한 결과를 이용하여 분석하였다.

Table 3 및 Fig. 8을 살펴보면 18MPa 콘크리트 블록에서의 실험 결과는 매입깊이가 앵커 직경의 6배 이상이면 하중

에 큰 영향이 없는 것으로 판단된다. 매입깊이 변수가 4배인 실험 결과, 파괴모드는 프라이아웃 파괴 후 강재가 뽑히는 현상이 발생하였으며 매입깊이 변수 6배 이상의 실험 결과 모두 강재 파괴가 발생하였다. 매입깊이 변수 8배의 최대 전

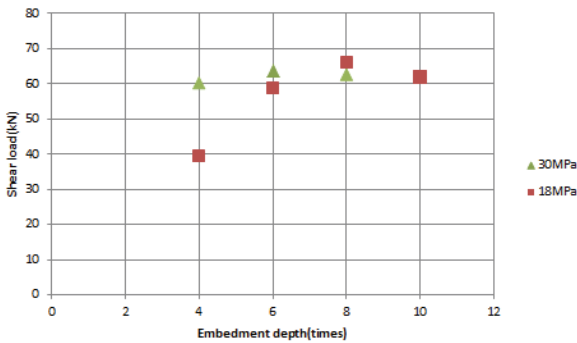


Fig. 8 Shear Load-Embedment Depth Graph

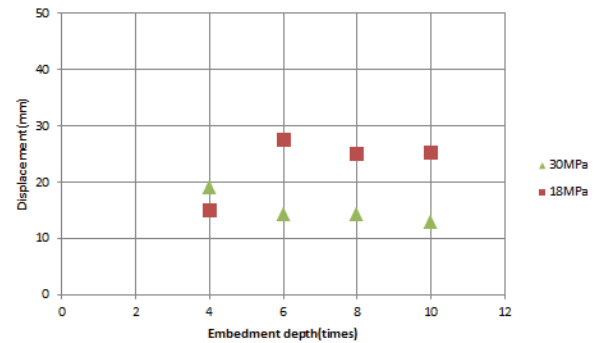


Fig. 9 Displacement-Embedment Depth Graph

단하중이 66.08kN이며 10배의 최대 전단하중 62.44kN 보다 약 5.51% 크게 나타났다. 이 경우 매입깊이가 얇은 실험에서 최대 전단하중이 더 크게 나타났으나 모두 강재 파괴가 발생하였기 때문에 실험오차 범위 내에 있다고 사료된다. 매입깊이 변수 8배의 최대 전단하중이 66.08kN이며 6배의 최대 전단하중 58.66kN 보다 약 11.23% 크게 나타났다. 매입깊이 변수 6배의 실험 결과 최대 전단하중이 58.66kN이며 4배의 최대 전단하중 39.48kN 보다 약 32.70% 크게 나타났다.

30MPa 콘크리트 블록에서의 실험 결과 매입깊이 변수가 하중에 미치는 영향은 없는 것으로 판단된다. 매입깊이 변수에 대한 실험 결과 모두 강재 파괴가 발생하였으며 매입깊이 변수가 앵커 직경의 6배인 실험의 최대 전단하중이 가장 크게 나타났으나 그 차이가 크지 않았다. 매입깊이 변수 10배의 최대 전단하중이 62.02kN이며 8배의 최대 전단하중 62.58kN 보다 약 0.90% 작게 나타났다. 매입깊이 변수 8배의 최대 전단하중이 62.58kN이며 6배의 최대 전단하중 63.84kN 보다 약 1.97% 작게 나타났다. 매입깊이 변수 6배의 최대 전단하중이 63.84kN이며 4배의 최대 전단하중 60.20kN 보다 약 5.70% 크게 나타났다.

Table 3 및 Fig. 9를 살펴보면 18MPa 콘크리트 블록에서의 실험 결과 매입깊이 변수가 6배 이상이면 변위에 큰 영향이 없는 것으로 판단된다. 매입깊이 변수 4배인 실험의 경우 최대 전단하중 시의 변위가 가장 작게 나타났으며 매입깊이 변수 6배인 실험의 최대 전단하중 시의 변위가 가장 크게 나타났다. 매입깊이 변수 4배 실험의 경우 프라이아웃 파괴 후 강재가 뽑히는 현상이 발생하면서 변위가 가장 작게 나타났다. 매입깊이 변수 6배 실험의 경우 콘크리트 표면이 다른 실험에 비해 더 많이 문들어지면서 변위가 가장 크게 나타난 것으로 추정되며 그 차이가 크지 않은 것으로 보아 콘크리트 특성에 의한 차이로 판단된다. 매입깊이 변수 10배의 최대 전단하중 시의 변위가 25.23mm이며 8배의 최대 전단하중

시의 변위 25.00mm 보다 약 0.90% 크게 나타났다. 매입깊이 변수 8배의 최대 전단하중 시의 변위가 25.00mm이며 6배의 최대 전단하중 시의 변위 27.55mm 보다 약 8.60% 작게 나타났다. 매입깊이 변수 6배의 최대 전단하중 시의 변위가 27.55mm이며 4배의 최대 전단하중 시의 변위 15.07mm 보다 약 44.9% 크게 나타났다.

30MPa 콘크리트 블록에서의 실험 결과 매입깊이 변수가 6배 이상이면 변위에 큰 영향이 없는 것으로 판단된다. 매입깊이 변수가 4배인 경우 콘크리트 표면과 앵커 밀 부분의 거리가 짧아 콘크리트의 표면이 더 많이 문들어지면서 변위가 크게 발생한 것으로 판단된다. 매입깊이 변수 10배의 최대 전단하중 시의 변위가 13.00mm이며 8배의 최대 전단하중 시의 변위 14.31mm 보다 약 9.15% 작게 나타났다. 매입깊이 변수 8배의 최대 전단하중 시의 변위가 14.31mm이며 6배의 최대 전단하중 시의 변위 14.33mm 보다 약 0.21% 작게 나타났다. 매입깊이 변수 6배의 최대 전단하중 시의 변위가 14.33mm이며 4배의 최대 전단하중 시의 변위 19.14mm 보다 약 25.08% 작게 나타났다.

4.2 세트앵커의 연단거리 매개변수 분석

세트앵커의 연단거리 변수에 대한 영향을 분석하기 위해 매입깊이는 동일하게 128mm이며 매입깊이의 2.0, 1.0, 0.5배의 연단거리에 대해 연단거리 진행방향으로 하중을 재하하였고 실험한 결과를 이용하여 분석하였다.

Table 4 및 Fig. 10을 살펴보면 18MPa 콘크리트 블록에서의 실험 결과는 연단거리가 하중에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 연단거리가 매입깊이의 2배인 실험 결과 강재 파괴가 발생하였지만 연단거리가 매입깊이의 1배 이하인 실험 결과 모두 콘크리트 파괴가 발생하였다. 연단거리 변수 2배의 최대 전단하중이 66.08kN이며 1배의 최대 전단하중

Table 4 Summary for Edge Distance

Name of experiment	shear load (kN)	Average (kN)	displacement (mm)	Average (mm)	Concrete strength (MPa)	Failure mode
S-08-20-20-01	66.36	66.08	24.69	25.00	18	steel
	65.80		25.30			
S-08-20-10-01	27.72	27.44	4.51	4.22	18	concrete
	27.16		3.93			
S-08-20-05-01	7.00	8.82	2.11	1.89	18	concrete
	10.64		1.66			
S-08-20-20-03	63.56	62.58	18.66	14.31	30	steel
	61.60		9.95			
S-08-20-10-03	48.44	49.42	6.10	6.99	30	concrete
	50.40		7.87			
S-08-20-05-03	17.92	17.92	3.17	3.57	30	concrete
	17.92		3.96			

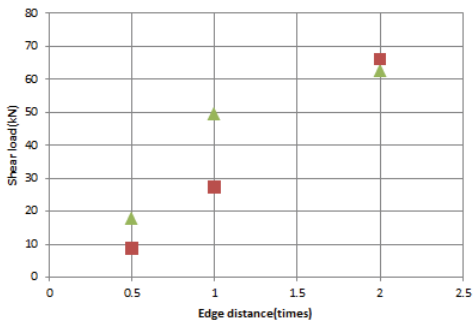


Fig. 10 Shear Load-Edge Distance Graph

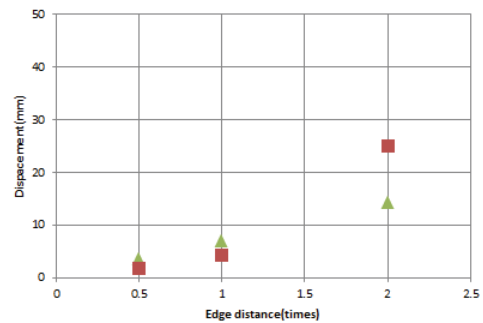


Fig. 11 Displacement-Edge Distance Graph

27.44kN 보다 약 58.47% 크게 나타났다. 연단거리 변수 1 배의 최대 전단하중이 27.44kN이며 0.5배의 8.82kN 보다 약 67.86% 크게 나타났다.

30MPa 콘크리트 블록에서의 실험 결과는 연단거리가 하중에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 연단거리가 매입깊이의 2배인 실험 결과 강제 파괴가 발생하였지만 연단거리가 매입깊이의 1배 이하인 실험 결과 모두 콘크리트 파괴가 발생하였다. 연단거리 변수 2배의 최대 전단하중이 62.58kN이며 1배의 최대 전단하중 49.42kN 보다 약 21.03% 크게 나타났다. 연단거리 변수 1배의 최대 전단하중이 49.42kN이며 0.5배의 18.34kN 보다 약 62.89% 크게 나타났다.

Table 4 및 Fig. 11을 살펴보면 18MPa 콘크리트 블록에서의 실험 결과는 연단거리가 클수록 최대 전단하중 시의 변위가 크게 나타났다. 연단거리가 매입깊이의 1배 이하인 실험은 측면 균열이 먼저 일어나면서 변위가 작게 발생한 것으로 판단된다. 연단거리 변수 2배의 최대 전단하중 시의 변위가 25.00mm이며 1배의 최대 전단하중 시의 변위 4.22mm 보다 약 83.12% 크게 나타났다. 연단거리 변수 1배의 최대

전단하중 시의 변위가 4.22mm이며 0.5배의 최대 전단하중 시의 변위 1.89mm 보다 약 55.21% 크게 나타났다.

30MPa 콘크리트 블록에서의 실험 결과 연단거리가 클수록 최대 전단하중 시의 변위가 크게 발생하는 것으로 나타났다. 콘크리트 강도 18MPa의 경우와 마찬가지로 연단거리가 매입깊이의 1배 이하인 경우 강제의 극한하중을 받기 이전에 콘크리트 파괴가 발생한 것으로 추정된다. 연단거리 변수 2배의 최대 전단하중 시의 변위가 14.31mm이며 1배의 최대 전단하중 시의 변위 6.99mm 보다 약 51.15% 크게 나타났다. 연단거리 변수 1배의 최대 전단하중 시의 변위가 6.99mm이며 0.5배의 최대 전단하중 시의 변위 3.93mm 보다 약 43.78% 크게 나타났다.

4.3 세트앵커의 콘크리트 강도 매개변수 분석

콘크리트 강도 변수에 대해서는 콘크리트 설계압축강도 18, 30MPa의 경우에 대해 분석을 하였다.

Fig. 12를 살펴보면 콘크리트 강도 18MPa의 경우 매입깊이가 앵커 직경의 4배인 경우 하중이 가장 낮게 나타났다.

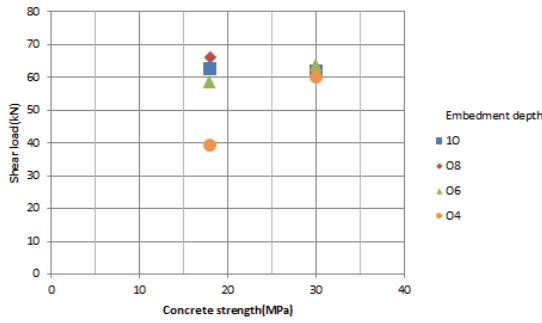


Fig. 12 Shear Load–Concrete Strength Graph of Embedment Depth

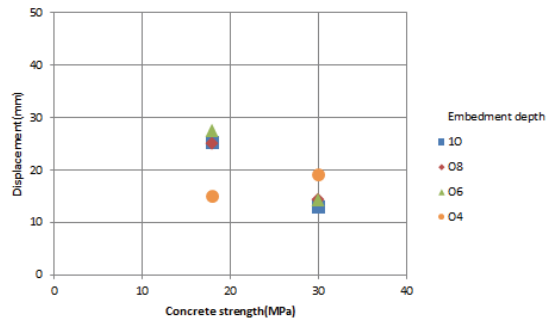


Fig. 13 Displacement–Concrete Strength Graph of Embedment Depth

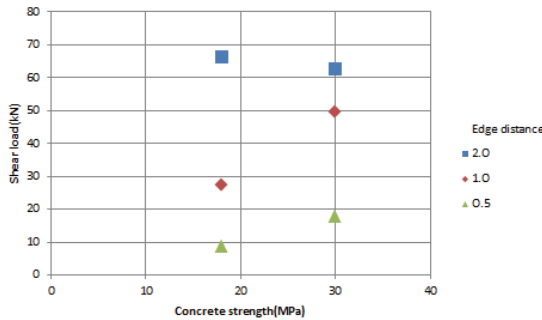


Fig. 14 Shear Load–Concrete Strength Graph of Edge Distance

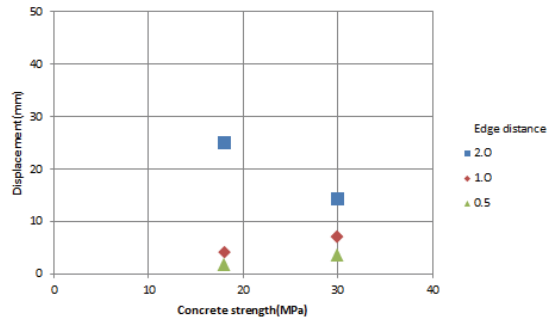


Fig. 15 Displacement–Concrete Strength Graph of Edge Distance

앵커 본체가 하중을 받을 때 앵커 밑의 콘크리트가 하중을 견디지 못하면서 앵커의 극한하중을 받기 이전에 프라이아웃 파괴 후 앵커가 뽑히는 현상이 발생하여 최대 전단하중이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 콘크리트 강도 30MPa의 경우 콘크리트의 강도가 강하기 때문에 앵커 밑의 콘크리트가 하중을 받쳐주며 앵커가 극한하중을 받아 강제 파괴가 발생하면서 매입깊이 변수에 대한 모든 실험결과 최대 전단하중이 비슷하게 나타난 것으로 판단된다. 콘크리트 강도 30MPa의 실험 결과 모두 강제 파괴가 발생하였으나 콘크리트 강도 18MPa은 매입깊이가 얇은 경우 프라이아웃 파괴 후 앵커가 뽑히는 현상이 발생한 것으로 보아 매입깊이가 얇을수록 콘크리트 강도의 영향이 큰 것으로 판단된다.

Fig. 13을 살펴보면 모든 매입깊이 변수의 실험 결과 콘크리트 강도 18MPa의 최대 전단하중 시의 변위가 콘크리트 강도 30MPa의 최대 전단하중 시의 변위보다 더 크게 나타났다. 콘크리트 강도 18MPa의 경우 30MPa보다 강도가 약하기 때문에 앵커 본체가 하중을 받을 때 콘크리트 표면이 더 많이 문들어지면서 변위가 더 크게 나타난 것으로 추정된다. 콘크리트 강도 18MPa의 매입깊이가 앵커 직경의 4배인 실험 결과를 보면 최대 전단하중 시의 변위가 가장 작게 나타났다. 앵커 본체가 극한하중을 받기 이전에 프라이아웃 파

괴 후 앵커가 뽑히는 현상이 발생한 이유인 것으로 판단된다.

Fig. 14를 살펴보면 연단거리가 매입깊이의 2배인 경우 콘크리트 강도 18, 30MPa 모두 최대 전단하중이 비슷하게 나타났다. 연단거리가 매입깊이의 1배 이하인 경우 콘크리트 강도 18MPa보다 30MPa인 경우 모두 콘크리트 파괴가 발생하였으나 전단 하중의 감소폭은 콘크리트 강도에 영향을 받는 것으로 판단된다.

Fig. 15를 살펴보면 연단거리가 매입깊이의 2배인 실험 결과 콘크리트 강도 18MPa이 30MPa보다 변위가 더 크게 나타났다. 연단거리가 충분하였기 때문에 앵커 본체가 하중을 받으면서 콘크리트 파괴가 일어나지 않았고 콘크리트의 강도가 약해 표면이 더 많이 문들어지면서 변위가 크게 발생한 것으로 판단된다. 연단거리가 매입깊이의 1배 이하인 경우에는 콘크리트 강도 18MPa이 30MPa보다 작게 나타났다. 연단거리가 짧아 앵커 본체가 하중을 받으면서 콘크리트가 하중을 버티지 못하고 더 빠른 파괴를 보이면서 변위가 작게 발생한 것으로 판단된다.

5. 결론

시중에서 세트앵커로 불리어지는 가장 간단하고 저렴한 저하

중용 후설치 콘크리트앵커의 전단파괴거동에 미치는 여러 변수의 영향을 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

매입깊이 변수의 실험 결과를 보면 콘크리트 강도 18MPa의 경우 매입깊이가 96mm 이상이면 최대 전단하중 및 최대 전단하중 시의 변위에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 매입깊이가 64mm 일 때 앵커 본체가 극한하중을 받기 전에 프라이아웃 파괴 후 앵커가 뽑히는 현상이 발생하면서 최대 전단하중 및 최대 전단하중 시의 변위가 작게 나타난 것으로 판단된다. 매입깊이가 96mm 이상에서는 콘크리트 강도 30MPa의 경우 18MPa보다 최대 전단하중 시의 변위가 작게 나타났지만 매입깊이가 64mm 일 때 변위가 크게 나타났다. 앵커 본체가 극한하중을 받을 때까지 콘크리트가 잘 받쳐주면서 변위가 크게 발생한 것으로 판단되며 매입깊이가 얇을수록 콘크리트 강도가 영향을 크게 미치는 것으로 판단된다.

연단거리 변수의 실험 결과 연단거리가 256mm 이상이면 콘크리트 강도에 상관없이 모두 강제 파괴가 발생하였으며 연단거리가 128mm 이하이면 모두 콘크리트 파괴가 발생하였으나 전단하중의 크기의 감소폭은 콘크리트 강도에 영향을 받는 것으로 판단된다.

앞으로 저하중 세트앵커의 그룹효과, 앵커 크기의 영향 등에 대한 실험 및 해석적 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

References

1. ACI Committee 318 (2002), Building Code Requirements Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute.
2. ACI Committee 349 (1990), Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures (ACI 349-01); Appendix B Anchoring to Concrete, Detroit, 80-86.

3. Jang, J. B., Suh, Y. P., and Lee, J. R. (2004), An Evaluation of Influence Factors to Shear Capacity of Cast-in-place Anchor, *Proceedings of Conference on Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, 2283-2288.
4. Jefferson, A. D. (2003), Craft-A Plastic-Damage-Contact Model for Concrete, I. Model Theory and Thermodynamic Considerations, *Journal of Solids and Structures*, 5973-5999.
5. 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 Hazard Mitigation*, KOSHAM, 13(2), 89-95.
6. Kim, S. Y. (2003), Shear Strength of Anchors under Load Applied Angle and a Group Anchors at an Edge, *Journal of Hazard Mitigation*, KOSHAM, 3(3), 133-141.
7. Kim, S. Y., Han, D. J., and Shin, C. H. (2005), Strength of Anchors under Load Applied Angles, *Journal of Hazard Mitigation*, KOSHAM, 5(1), 69-76.
8. 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*, 197-200.
9. 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, 97-98.
10. LUSAS (2013), Modeller User's Manual, FEA Ltd.
11. Um, C. H., and Yoo, S. W. (2014), An Experimental Study on the Shear Failure Behavior of Post-installed Set Anchor for Concrete, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, 34(1), 367-375.
12. 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.

Received : 04/10/2014

Revised : 08/11/2014

Accepted : 11/20/2014

요 지

콘크리트용 후설치 세트앵커는 콘크리트가 경화된 후에 설치되는 앵커이며 시공 장비의 발달과 시공의 유연성 및 용이성으로 사용량이 증가하고 있는 실정이다. 전단하중을 받는 앵커는 강제 파괴, 콘크리트 파열파괴, 콘크리트 프라이아웃 파괴 등의 대표적인 파괴모드를 보인다. 본 연구에서는 매입깊이, 연단거리 및 콘크리트 강도를 변수로 한 세트앵커의 실험 및 유한요소 해석 결과를 통하여 콘크리트에 매입된 저하중용 후설치 세트앵커의 전단 파괴거동에 미치는 영향을 규명하는 것을 그 목적으로 한다. 매입깊이 변수의 실험 결과 매입깊이가 얇을수록 콘크리트 강도의 영향이 큰 것으로 나타났다. 연단거리 변수의 실험 결과 동일한 파괴모드를 보이면서 콘크리트 강도의 영향이 크지 않은 것으로 나타났다. 강제 파괴가 발생한 실험 결과를 비교해 보았을 때 콘크리트 강도가 클수록 변위가 상대적으로 더 작게 나타났다.

핵심 용어 : 저하중 콘크리트 세트앵커, 유한요소 해석, 전단파괴, 매입깊이, 연단거리