

슬리브 및 헤드 길이에 따른 후설치 앵커의 인발성능평가

허무원¹, 채경훈², 안영승³, 박태원^{4*}

Performance Evaluation of Post-installed Anchor according to Sleeve Length and Header Length

Moo-Won Hur¹, Kyoung-Hun Chae², Yeong-Seung An³, Tae-Won Park^{4*}

Abstract: This study presents post-installed anchors whose heads and extension sleeves are improved. The optimal lengths of the extension sleeves and headers were analytically determined by simulations. As a result of analysis using Finite element method (FEM), 9.0mm and 3.0mm were determined as the optimal lengths of sleeves and headers respectively. In pull-out tests using the improved post-installed anchors, all specimens satisfied the coefficient of variation of 15%. Comparing the pull-out strengths of existing anchors and the improved anchors, it was increased by 1.25 times for anchors embedded with a depth of 50mm, and 1.54 times for 70mm. In the cases of high-strength concrete, the strengths were increased by 1.28 and 1.55 times for 50mm and 70mm respectively. Moreover, as a result of shear tests, the improved anchors perform the greater strength of 1.38 times than the existing anchors.

Keywords: Post-installed anchor, FEM analysis, Sleeve length, Header length, Embedded depth

1. 서론

콘크리트에 설치되는 앵커는 Fig. 1과 같이 콘크리트 타설 시 매립하는 선설치 앵커(Cast-in Anchor)와 후설치 앵커(Post-installed Anchor)로 분류할 수 있으며, 후설치 앵커는 기계식과 부착식으로 분류하고 있다. 이 중 선설치 앵커는 고유의 기능인 구조부재와의 접합성능이 매우 우수하나 콘크리트 타설 전에 설치되어야 하므로 시공이 어렵고 콘크리트가 경화되고 나면 수정이 불가능한 단점이 있다. 이에 많은 현장에서 선설치 앵커 보다는 후설치 앵커가 많이 적용되고 있다. 그 적용범위는 커튼 월 고정, 철골보강재 부착, 각종 부속설비 장착 및 등에 교량, 터널 등 각종 시설물에 매우 광범위하게 사용되고 있다.

후설치 앵커의 성능평가 및 설계 기준은 미국의 ACI code (ACI 355.2, 2011, ACI 318, 2011)와 유럽의 Euro code (ETAG, 2003)가 주로 활용되고 있다. 국내의 경우 ACI를 근간으로 하여 콘크리트구조기준해설(KBC 2016)의 부록에 콘

크리트용 앵커 설계 방법이 수록되어 있고, “콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집”에 후설치 앵커시스템의 성능평가 실험방법들이 제시되어 있다(Table 1참조).

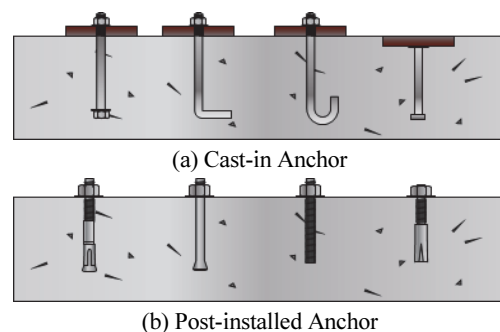


Fig. 1 Type of anchor

Table 1 Standards on post-installed anchors for concrete

Country	Standards
USA	- ACI 355.2 Qualification of Post-installed Mechanical Anchors in Concrete
	- ACI 318 Building Code Requirements for Structural Concrete
	- ASTM E488 Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements
Europe	- ETAG 001 Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete
Korea	- Korean Building Code (KBC 2016)

¹정희원, 단국대학교 건축공학과 연구교수, 공학박사

²정희원, 단국대학교 건축공학과, 박사과정

³정희원, (주)원진, 기술연구소 연구소장

⁴정희원, 단국대학교 건축공학과, 교수, 공학박사

*Corresponding author: tw001@dankook.ac.kr

Dept. of Architectural Engineering, Dankook University, Gyeonggi-do, 16890, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2021년 5월 31일까지 학회로 보내주시면 2021년 6월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

국내시장에 진입한 앵커의 경우, 유럽 및 미국 코드를 만족하고 있는 앵커가 있는 반면에 다수의 저가 앵커의 경우, 기준에서 제시하고 있는 극한인장하중에서의 변동계수가 15.0%를 초과해 설계인장력을 확정할 수 없거나 품질에 대한 신뢰성을 확보하지 못하는 경우가 많다. 하지만 경제적 이유와 국내 앵커설계의 기준에 대한 부족으로 국내에 형성되어 있는 약 200억 시장 규모 중 대부분은 저가제품이고 국내기준 및 국제기준을 만족하는 성능을 확보한 앵커는 그 점유율이 약 20%에도 미치지 못하는 실정이다(HILTI, 2016).

최근 발생한 경주지진(2016, 규모 5.6) 및 포항지진(2017, 규모 5.2)을 계기로 공공건축물 및 학교 내진보강사업이 급격히 증가하고 있는 추세이다(Fig. 2 참조).

후설치 앵커의 내력 전달과정은 Fig. 3과 같다. 즉 앵커의 내력은 앵커 본체의 Header 부에서 콘크리트와 마찰력을 증가시키는가와 본체와 함께 결합되는 Sleeve부의 슬롯의 확장여부가 그 내력의 큰 부분을 차지하게 된다. 즉 앵커가 콘크리트에 결합할 때 Sleeve부분이 Header부에 밀려들어가며 두 부분이 일체화되고 일체화된 부분이 콘크리트 내에서 얼마만큼의 걸림 력이 작용하는 과정이 앵커의 인발내력을 좌우하게 된다.

후설치 앵커에 대한 국내외의 연구동향을 살펴보면 비틀림 제어 확장앵커의 비선형 인장거동 특성을 유한요소해석을 통해 분석하였고(Bang et al., 2020), 앵커의 묻힘 깊이와 토크 값에 대한 실험을 진행하였고, 하중-변위 모델을 제시하였다(Del homme et al., 2018). 외부 하중에 의한 앵커의 파괴 경향



Fig. 2 Case of earthquake damage

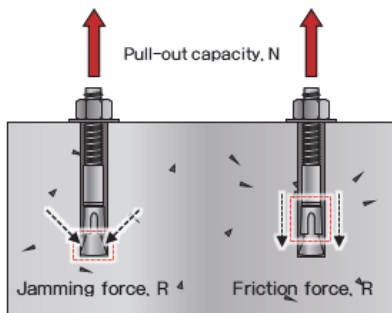


Fig. 3 Transmission of strength of anchor

및 콘크리트의 손상 정도를 파악하기 위해 비선형 유한요소 해석 연구가 수행되고 있다(Chen et al., 2020; Gontarz and Podgórski, 2019; Tsavdaridis et al., 2016). 콘크리트의 균열 유무에 따른 단일 앵커의 거동을 연단거리의 영향을 받지 않는 실험체를 대상으로 정적 및 동적실험을 수행하여 저항 성능을 평가하였다(Mahrenholtz P et al., 2015). 연단거리를 주요변수로 한 인장실험을 통하여 내력을 확인하였다(Karmazinova et al., 2009). 국내 구조물에 사용되는 후설치 앵커를 대상으로 토크에 대한 영향력을 비교한 실험 및 유한요소해석 연구를 진행하여 보고된 예도 있다(Kim et al., 2013). 기존 연구는 대부분 앵커 실험 및 유한요소해석이 대부분을 이루고 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 기존의 후설치 앵커의 헤드 부분과 확장슬리브 부분을 개선한 후설치 앵커를 개발하고자 한다. 최적형상을 시뮬레이션 해석을 수행하여 후설치 앵커의 확장슬리브와 헤더의 길이를 결정하였고, 개발된 후설치 앵커의 인발성능실험을 통해 기존 앵커와의 성능을 비교 평가하고자 한다.

2. 앵커의 기계적 성능

콘크리트에 설치되는 앵커는 피부착 구조물에 작용하는 하중을 모재에 전달하는 구조용 부재로서 최근 들어 콘크리트 구조물 보강의 중요성이 대두됨에 따라 그 성능확보가 매우 중요하다.

후설치 앵커는 기계식 후설치 앵커와 부착식 후설치 앵커로 분류할 수 있다. 기계식 후설치 앵커에는 비틀림 제어 확장앵커, 언더컷앵커, 변위 제어 확장앵커 등이 있다. 앵커의 설치는 기본적으로 콘크리트 타설시 매립하는 것이 안전하지만 공법의 전환, 앵커 매립위치 선정의 용이성, 추가적인 구조물 보강 등으로 인한 설계 및 시공 여건상 후설치 앵커가 많이 사용되고 있다. 후설치 앵커의 인장실험에서 발생하는 파괴는 Fig. 4와

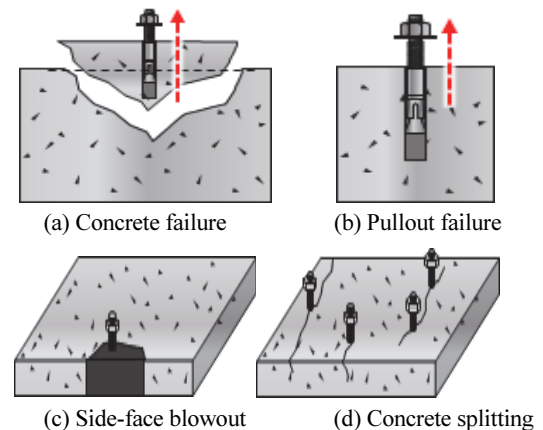


Fig. 4 Failure mode of anchor

같이 콘크리트파괴, 뽑힘파괴, 측면파열, 쪼갬파괴 및 강제파괴가 있다(ACI 355, 2011).

3. 앵커의 성능 개선을 위한 형상 제안

3.1 FEM 해석 변수 설정

Fig. 5와 같이 후설치 앵커는 한쪽 선단에는 나사산과 와서 및 너트가 함께 있으며, 다른 선단에는 나사산을 가공하여 확장 헤더와 확장 슬리브를 걸어 놓은 구조이다. 후설치 앵커는

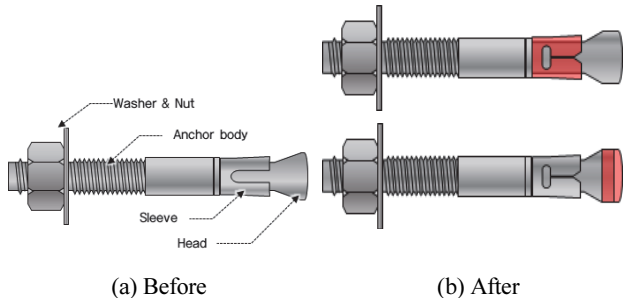
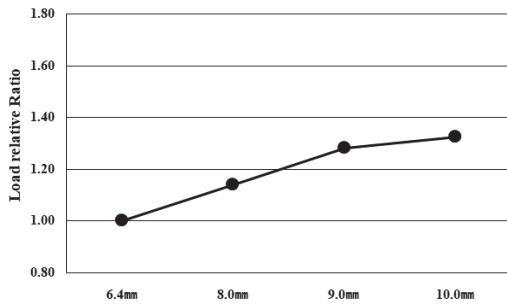
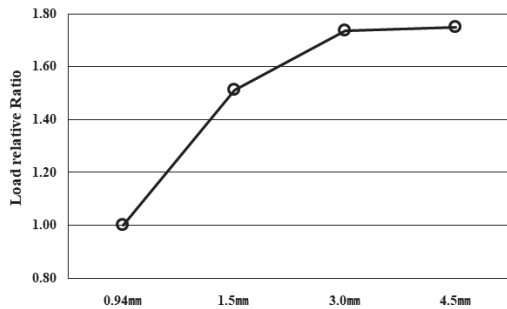


Fig. 5 Shape of anchor



(a) Sleeve length



(b) Header length

Fig. 6 Load relative ratio

Table 2 Analysis variable (UNIT: mm)

	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6	Case-7
Sleeve length	6.4	8.0	9.0	10.0	6.4	6.4	6.4
Header length	0.94	0.94	0.94	0.94	1.5	3.0	4.5

결림력과 마찰력으로 인장강도에 저항하는 구조로서 이러한 인장강도에 영향을 줄 수 있는 파라미터는 슬리브의 길이와 헤더의 길이라고 할 수 있다(Fig. 6 참조). 이에 본 연구에서는 아래 Table 2와 같이 M12 앵커를 대상으로 기본모델과 6가지의 해석 변수를 설정하여 수치해석을 수행하였고, 최적의 슬리브 길이와 헤더 길이를 선정하고자 한다.

Table 3과 Table 4는 FEM 해석 시 격자(Mesh)와 재료 상세를 입력데이터를 나타낸 표이다. 해석에 사용된 프로그램은 아바쿠스(ABAQUS 6.20)이다(J. Lubliner et al., 1989).

3.2 FEM 해석 결과

Fig. 6은 각 변수별(슬리브의 길이와 헤더의 길이) 해석결과를 기본모델의 상대비로 나타낸 그림이다. 또한, Table 5는 해석 변수별 결과를 나타낸 표이다.

Fig. 6에서 알 수 있듯이 슬리브의 길이가 늘어질수록 마찰력은 커지는 것으로 나타났다. 하지만, 슬리브의 길이가 10mm

Table 3 FEM Analysis of mesh details

Item	Content
Mesh type	Solid Mesh
Mesher used	Curvature based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	2.0047mm
Tolerance	0.100235mm
Mesh quality	High
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off

Table 4 FEM Analysis of material details

Item	Content
Model type	Linear Elastic Isotropic
Default failure criterion	Max von Mises Stress
Yield strength	250MPa
Tensile strength	400MPa
Elastic modulus	200,000MPa
Poisson's ratio	0.26
Mass density	7,850g/cm ³
Shear modulus	79,300MPa

Table 5 FEM analysis result-1

	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6	Case-7
Parameter	Original	Sleeve length			Header length		
		8.0 mm	9.0mm	10.0mm	1.5mm	3.0mm	4.5mm
Load (kN)	83.19	94.77	106.73	110.16	125.84	144.54	145.50
Relative ratio	1.00	1.14	1.28	1.32	1.51	1.74	1.75

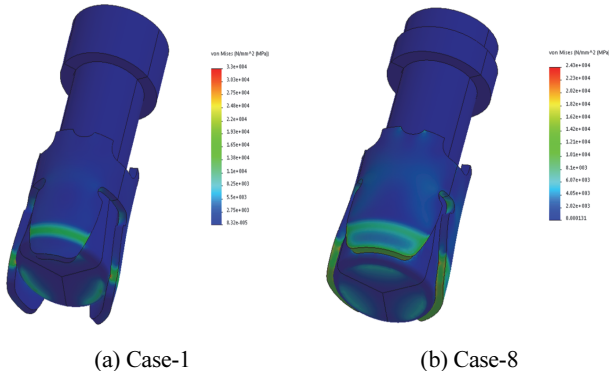


Fig. 7 Analysis result

Table 6 Optimal design results

Parameter	Case1	Case8
	Original	Optimal model
Load (kN)	83.19	187.58
Load relative ratio	1.00	2.25

를 초과할수록 내력의 증가가 감소하는 것을 알 수 있었다. 헤드 길이에 따른 해석결과, 헤드 길이가 3.0mm까지는 선형적으로 증가하였지만, 헤드 길이가 4.5mm인 경우에는 내력이 크게 증가하지 않는 것을 알 수 있었다.

FEM 해석을 통해 최적 슬리브 길이(9.0mm)와 헤더 길이(3.0mm)를 선정하였고, 최적 슬리브 길이와 헤더 길이를 적용한 모델을 기본모델과 비교하여 Fig.7과 Table 6에 나타내었다. FEM 해석결과 기존 모델 대비 약 2.25배의 성능향상을 나타내었다.

4. 개선된 후설치 앵커의 성능평가

4.1 개선된 후설치 앵커의 성능 실험

개선된 M12 앵커의 성능 효과를 비교 분석하기 위해 Fig. 8과 같이 1,800×1,800×300mm의 콘크리트 시편을 제작하였다. 콘크리트 시편은 비균열 콘크리트이며, 콘크리트 파괴에 영향을 미치는 철근은 배근하지 않았다. 실험체의 부재두께는 $h_{min} = 1.5h_{ef}$ 이상으로 제작하였으며 쪼갬 방지 및 상호 영향을 주지 않기 위해 최소 앵커간격 $s_{min} = 6d_0$ 이상으로 앵커를 설치하였다(Fig. 8 참조). 콘크리트의 강도는 콘크리트용 앵커설계법 및 예제집(KCI, 2018)의 기준에 따라 일반강도 21MPa, 고강도 50MPa로 계획하였다. 28일 압축강도 실험 결과 일반강도는 23.5MPa, 고강도는 50.5MPa로 나타났다.

Table 7은 개선 전·후의 앵커의 성능을 평가하기 위하여 시험군을 선정하여 실험을 수행하였다. 앵커 실험체는 콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집(KCI, 2018)의 앵커시스템 평가

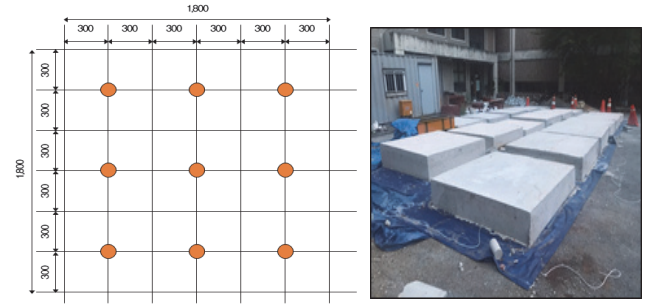
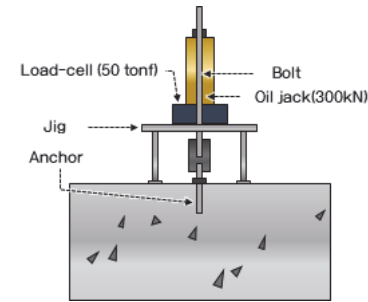


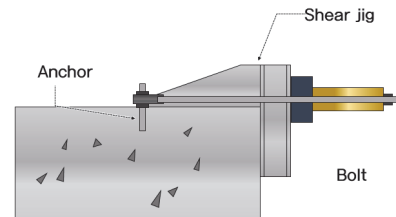
Fig. 8 Preparation of specimens

Table 7 Test variable

Type	Concrete strength	Diameter (mm)	Effective embed depth (mm)
Pull-out	Normal-strength concrete	12	50, 70
	High-strength concrete		
Shear	Normal-strength concrete	12	70



(a) Pull-out test



(b) Shear test

Fig. 9 Anchor test set-up

를 위한 실험 프로그램의 실험번호 1, 2이며, 실험체 명은 앵커의 개선 유무-콘크리트 강도-유효 묻힘 깊이로 명명하였다. 기존 실험의 경우 규정에 의해 실험군 당 최소 5개 이상의 앵커 실험체를 제작하여 평균, 표준편차 및 변동계수로 평가하게 되어 있다. 이러한 조건에 부합되도록 앵커의 개선유무, 묻힘깊이 및 콘크리트 강도로 나누어 인발실험 40개 및 전단실험 10개 총 50개의 실험체에 대해 성능평가 실험을 수행하였다.

Fig. 9는 앵커의 인발실험 및 전단실험의 셋팅도를 나타낸 것이다. 그림과 같이 앵커에 연결철물을 체결하고 앵커가 지그의 중심에 오도록 설치하였다. 지그는 로드셀(500kN)과 결

속하였으며 로드셀 위에 실린더를 설치하고 전산볼트(M24)로 앵커-지그-로드셀을 일체화하였다. LVDT (200mm)는 지그에 고정하여 변위를 측정하였고 유압잭(250kN)을 연결하여 하중을 가한 후 로드셀로 하중을 측정하였다. 제조사에서 제공한 토크 값은 50N·m으로 토크를 가한 후 10분이 경과하면 토크를 완전히 제거하고 다시 50%의 토크를 가하여 실험을 수행하였다.

4.2 실험결과 및 분석

Fig. 10은 개선된 앵커 인발실험 최종 파괴 사진이며, Table 8과 Table 9에 개선 전·후 앵커의 콘크리트 강도와 문힘 깊이에 따른 실험결과를 나타내었다.

개선 전 문힘 깊이가 50mm 실험체의 최종파괴 형태를 분석해보면 일반강도수준의 콘크리트 강도를 갖는 경우, 모든 실험체에서 콘크리트 콘파괴 양상을 나타내었다. 하지만, 고강도의 경우에는 5개중 3개 실험체에서는 콘크리트 콘파괴 양상을 나타내었고, 2개 실험체에서는 뿔힘 파괴 양상을 나타내었다. 또한, 문힘 깊이가 70mm 실험체의 최종파괴 형태는 일반강도의 경우에는 개중 3개 실험체에서는 콘크리트 콘파괴 양상을

나타내었고, 고강도의 경우에는 3개의 실험체에는 뿔힘 파괴가 2개의 실험체에서 콘크리트 콘 파괴가 나타났다. 문힘 깊이가 50mm인 개선 전 앵커의 평균 강도는 25.7kN로 나타났고, 표준편차는 4.13, 변동계수는 16.1%로 나타났다.

또한, 문힘 깊이가 70mm인 개선 전 앵커의 평균 강도는 28.7kN이며, 표준편차는 4.13, 변동계수는 15.1%로 나타났다. 개선 전 앵커의 경우 콘크리트구조기준에서 제시하는 변동계수 15%를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 개선 전 앵커의 경우 오픈형 슬리브로 변형이 크게 발생하여 결립력이나 마찰력에서 손실이 크게 나타나 인발강도가 크게 차이가 나는 것으로 판단된다. 개선 후, 문힘 깊이가 50mm 실험체의 최종파괴 형태는 일반강도와 고강도 모두 콘크리트 콘파괴 양상을 나타내었다. 또한, 문힘 깊이가 70mm 실험체의 최종파괴 형태도 문힘 깊이가 50mm와 동일하게 모든 실험체에서 콘크리트 콘파괴 양상을 나타내었다.

문힘 깊이가 50mm인 개선 후 앵커의 평균 강도는 32.0kN으로 나타났고, 표준편차는 2.68, 변동계수는 8.4%로 나타났다. 또한, 문힘 깊이가 70mm인 개선 후 앵커의 평균 강도는 44.6kN이며, 표준편차는 2.27, 변동계수는 5.1%로 나타났다. 개선 후 앵커의 경우 콘크리트구조기준에서 제시하는 변동계수를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 개선 후 앵커의 경우 마찰면적이 증가하고 슬리브의 오픈부가 적어져 전체적으로 결립력을 향상시킬 수 있으며, 앵커 설치 시 축력에 의한 슬리브 간의 간섭이 없어 균등한 조임력을 받게 되며, 이에 따른 변동률도 줄일 수 있는 것으로 판단된다.

Fig. 11은 개선 전·후의 문힘 깊이에 따른 인발강도를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 일반강도 콘크리트의 경우 개선 전·후의 인발강도가 문힘 깊이가 50mm인 경우에는 1.25배 증가하였고, 문힘 깊이가 70mm인 경우에는 1.54배



(a) Normal-strength concrete (b) High-strength concrete

Fig. 10 Pull-out test results

Table 8 Pullout test result(normal-strength concrete)

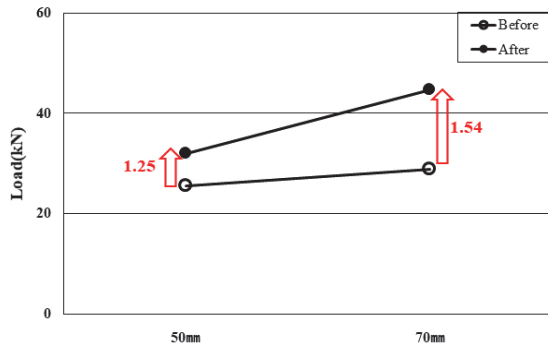
NO.	Before						After					
	N1)-50			N-70			N-50			N-70		
	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ²⁾	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ²⁾	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ²⁾	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ²⁾
1	31.8	4.2	CB	32.1	8.3	CB	33.7	4.7	CB	47.5	9.2	CB
2	23.9	3.7	CB	31.6	9.0	CB	32.8	4.4	CB	43.9	10.6	CB
3	28.1	4.5	CB	25.5	9.5	PF	35.0	4.6	CB	41.3	10.8	CB
4	22.7	4.1	CB	23.1	8.8	PF	28.4	4.6	CB	45.5	9.6	CB
5	22.1	2.3	CB	31.2	7.6	CB	30.3	1.9	CB	44.9	8.9	CB
Average	25.7	2.2		28.7	8.6		32.0	4.0		44.6	9.8	
Standard Deviation		4.13			4.35			2.68			2.27	
Coefficient of variation		16.1%			15.1%			8.4%			5.1%	

¹⁾ N: Normal-strength concrete, ²⁾ CB: concrete cone failure, PF: pullout failure

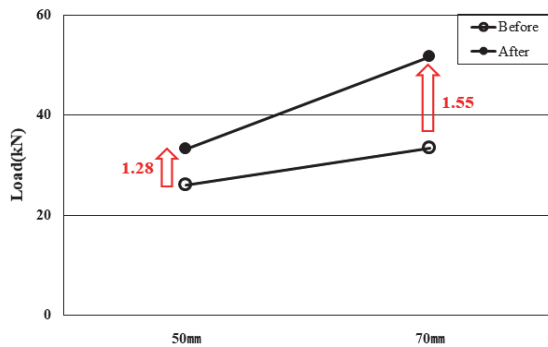
Table 9 Pullout test result (high-strength concrete)

NO.	Before						After					
	H ¹⁾ -50			H-70			H-50			H-70		
	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ²⁾	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ²⁾	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ²⁾	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ²⁾
1	26.7	5.0	CB	35.2	8.8	CB	32.84	5.1	CB	52.2	9.8	CB
2	25.2	3.2	PF	30.1	5.0	PF	31.7	4.6	CB	49.8	6.3	CB
3	26.1	5.2	PF	28.5	6.7	PF	33.71	5.23	CB	52.4	6.1	CB
4	23.9	4.6	CB	31.8	7.6	PF	36.04	4.35	CB	47.4	8.0	CB
5	28.1	5.1	CB	41.2	6.4	CB	31.46	4.37	CB	56.3	7.5	CB
Average	26.0	4.6		33.4	7.3		33.2	4.7		51.6	7.5	
Standard Deviation	1.58			5.04			1.85			3.3		
Coefficient of variation	6.1%			15.1%			5.6%			6.4%		

¹⁾ H: High-strength concrete, ²⁾ CB: concrete cone failure, PF: pullout failure



(a) Normal-strength concrete



(b) High-strength concrete

Fig. 11 Pulling strength according to embedded depth

증가하였다.

또한, 고강도 콘크리트의 경우에는 묻힘 깊이가 50mm인 경우에는 1.28배 증가하였고, 묻힘 깊이가 70mm인 경우에는 1.55배 증가하는 것으로 나타났다. 유한요소 해석 시에는 개선 전·후의 강도가 약 225% 정도로 나타났지만, 실험결과에서는 묻힘 깊이에 따라 약 125%~ 155%정도로 나타났다. 이러한 사유는 시공 시 발생할 수 있는 여러 가지 문제점(수직도 및 청



(a) Before

(b) After

Fig. 12 Test results (shear)

Table 10 Shear test result(normal-strength concrete)

NO.	Before			After		
	N-70			N-70		
	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ²⁾	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ¹⁾
1	18.4	29.1	SF	26.0	46.4	PF
2	16.6	40.1	SF	23.3	27.0	PF
3	22.6	23.1	SF	23.6	33.0	PF
4	13.9	22.1	SF	24.8	27.9	PF
5	19.1	30.1	SF	27.6	42.8	PF
Average	18.1	28.9		25.1	35.4	
Standard Deviation	3.2			1.8		
Coefficient of variation	17.7%			7.1%		

¹⁾ SF: steel failure, PF: pry-out failure

도 등)으로 판단된다. 하지만, 앵커의 슬리브와 헤더를 개선한 앵커가 각각 앵커의 표준편차도 균일하게 나오고, 변동계수 값도 규준에서 요구하는 값을 만족하는 것으로 나타났다.

Fig. 12는 개선 전·후 앵커 전단실험 최종파괴 사진이며, Table 10은 개선 전·후 앵커의 전단실험결과를 나타내었다.

전단 실험 결과 개선 전 앵커의 평균 강도는 18.1kN로 나타났고, 표준편차는 3.2, 변동계수는 17.7%로 나타났다. 개선 전 앵커의 경우 인발강도 실험과 동일하게 콘크리트구조기준에서 제시하는 변동계수 15%를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

하지만, 개선 후 앵커의 평균 강도는 25.1kN로 나타났고, 표준편차는 1.8, 변동계수는 7.1%로 나타났다. 개선 후 앵커의 경우 인발강도 실험과 동일하게 콘크리트구조기준에서 제시하는 변동계수 15%를 만족하는 것으로 나타났다. 개선 전·후의 내력을 비교한 결과 약 138% 내진증진효과도 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 후설치 앵커의 헤드 부분과 확장슬리브 부분을 개선한 후설치 앵커를 개발하고자 한다. 최적형상을 시뮬레이션 해석을 수행하여 후설치 앵커의 확장슬리브와 헤더의 길이를 결정하였고, 개발된 후설치 앵커의 인발성능 실험을 통해 기존 앵커와의 성능을 비교 평가하였다. 이로 부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 슬리브 길이와 헤더 길이를 개선한 후설치 앵커를 제안하였다. 제안한 후설치 앵커는 마찰면적이 증가하고 슬리브의 오픈부가 적어져 전체적으로 결립력을 향상시킬 수 있으며, 앵커 설치 시 축력에 의한 슬리브 간의 간섭이 없어 균등한 조임력을 받게 되며, 이에 따른 변동률을 줄일 수 있다. 또한, 앵커 헤드부를 확장함에 따라 응력이 발생하는 단면적이 확장되고, 마찰면적 또한 증가되어 마찰력을 향상시킬 수 있다.
- (2) FEM해석을 통해 최적 슬리브 길이(9.0mm)와 헤더 길이(3.0mm)를 선정하였다. FEM 해석결과 기존 모델 대비 약 2.25배의 성능향상을 나타내었다.
- (3) 개선 된 후설치 앵커의 인발강도 실험 결과, 모든 비교군에서 변동계수 15%를 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 개선 전·후의 묻힘 깊이에 따른 인발강도를 비교한 결과, 묻힘 깊이가 50mm인 경우에는 1.25배 증가하였고, 묻힘 깊이가 70mm인 경우에는 1.54배 증가하였다. 고강도 콘크리트의 경우에는 묻힘 깊이가 50mm인 경우에는 1.28배 증가하였고, 묻힘 깊이가 70mm인 경우에는 1.55배 증가하는 것으로 나타났다.
- (4) 개선 된 후설치 앵커의 전단강도 실험 결과, 개선 된 후설치 앵커의 경우 변동계수 15%를 만족하는 것으로 나타났지만, 개선 전 앵커의 경우 변동계수를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 또한, 개선 전·후의 전단강도를 비교한 결과, 1.38배 강도가 증가하는 것으로 나타났다.
- (5) 추후 M16 및 M20을 대상으로도 수치해석을 통해 최적

의 슬리브 길이와 헤더 길이를 선정할 예정이며 선정된 슬리브 길이와 헤더 길이를 바탕으로 성능실험을 실시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업(과제번호: N20CTAP-C157477-01)에 의한 연구 결과이며 이에 감사드립니다.

References

1. ACI Committee 355.2. (2011), Evaluating the Performance of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete.
2. ACI Committee 318. (2011), Building Code Requirements For Structural Concrete and Commentary.
3. ETAG, (2003), GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF METAL ANCHORS FOR USE IN CONCRETE.
4. Korean Building and Commentary, (2016), Architectural Institute of Korea.
5. Hilti, (2019), Anchor Fastening Technical Guide Edition 19, https://www.hilti.com/medias/sys_master/documents/hd8/h29/9484912361502/Technical-information-ASSET-DOC-LOC-1543421.
6. HILTI, (2016), Hilti Technical Report.
7. J. Lubliner, J. Oliver, S. Oller, E. Oñate, (1989), A Plastic-damage Model for Concrete, *International Journal of Solids and Structures*, 25(3), 299-326.
8. Bang, J. S., Youn, I. R., Kwon, Y. S., and Yim, H. J. (2020), Nonlinear Tensile Behavior Analysis of Torque-controlled Expansion Anchors Using Finite Element Analysis, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 24(4), 91-99.
9. Delhomme, F., Pallud, B., and Rouane, N. (2018), Tightening Torque Influence on Pullout Behavior of Post-installed Expansion Anchors, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(10), 3931-3939.
10. Chen, Z., Nassiri, S., Lamanna, A., and Cofer, W. (2020), Investigation of Pull-Through and Pullout Failure Modes of Torque-Controlled Expansion Anchors. *ACI Structural Journal*, 117(1).
11. Gontarz, J., and Podgórski, J. (2019), Analysis of Crack Propagation in a "Pull-out" Test, *Studia Geotechnica et Mechanica*.
12. Tsavdaridis, K. D., Shaheen, M. A., Baniotopoulos, C., and Salem, E. (2016), Analytical Approach of Anchor Rod Stiffness and Steel Base Plate Calculation Under Tension. *In Structures*, 5, 207-218.
13. Mahrenholtz, P., and Eligehausen, R. (2015), Post-installed Concrete Anchors in Nuclear Power Plants: Performance and Qualification, *Nuclear Engineering and Design*, 287, 48-56.
14. Karmazínová, M., Melcher, J., and Kala, Z. (2009), Design of Expansion Anchors to Concrete Based on Results of Experimental Verification, *Advanced Steel Construction*, 5(4), 390-405.
15. Kim, J. S., Jung, W. Y., Kwon, M. H., and Ju, B. S. (2013), Performance Evaluation of the Post-installed Anchor for Sign Structure in South Korea, *Construction and Building Materials*, 44, 496-506.

16. KCI, (2018), Anchor Design Method and Sample for Concrete.
17. Hur. M. W., Chae. K. H., An. Y. S., and Park. T. W., (2019), An Performance Evaluation of Post-installed Anchor according to the Effective Embedment Length, *Journal of the Korean Institute of Educational Facilities*, 131(7), 19-25.

Received: 11/03/2020
Revised: 11/27/2020
Accepted: 12/02/2020

요 지 : 본 연구에서는 기존의 후설치 앵커의 헤드 부분과 확장슬리브 부분을 개선한 후설치 앵커를 개발하고자 한다. 최적형상을 시뮬레이션 해석을 수행하여 후설치 앵커의 확장슬리브와 헤더의 길이를 결정하였다. FEM 해석 결과, 최적 슬리브 길이(9.0mm)와 헤더 길이(3.0mm)를 선정하였다. 개선 후 후설치 앵커의 인발강도 실험 결과, 모든 실험체에서 변동계수 15%를 만족하는 것으로 나타났다. 개선 전·후의 묻힘 깊이에 따른 인발강도를 비교한 결과, 묻힘 깊이가 50mm인 경우에는 1.25배 증가하였고, 묻힘 깊이가 70mm인 경우에는 1.54배 증가하였다. 고강도 콘크리트의 경우에는 묻힘 깊이가 50mm인 경우에는 1.28배 증가하였고, 묻힘 깊이가 70mm인 경우에는 1.55배 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 전단강도 실험결과, 개선 후 앵커가 내력이 1.38배 증가하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 후설치 앵커, 유한요소해석, 슬리브 길이, 헤더 길이, 묻힘깊이
