

# 드릴비트 직경에 따른 비틀림 제어 확장 앵커의 인발성능 평가

채경훈<sup>1</sup>, 박태원<sup>2</sup>, 허무원<sup>3\*</sup>, 안영승<sup>4</sup>, 한주연<sup>3</sup>

## Evaluation of Pull-out Performance of Torsion Control Expansion Anchor According to Drill Bit Diameter

Kyoung-Hun Chae<sup>1</sup>, Tae-Won Park<sup>2</sup>, Moo-Won Hur<sup>3\*</sup>, Yeong-Seung An<sup>4</sup>, Ju-Yeon Han<sup>3</sup>

**Abstract:** In this study, reliability tests of torsion control expansion anchors according to drill bit diameters were performed. The standard deviation and coefficient of variation of the anchor were reviewed through the tests for each variable, and the results were compared and evaluated with the standard test results. As a result of the reliability test of the M12 and M16 anchors with 1.04 times the drill bit diameter, they were within 20% of the ultimate tensile load permissible standard coefficient of variation. It was found that the pulling-out performance of the anchor installed in the large hole was sufficiently secured. However, it was found to be about 253% and 210% of the design strength, indicating that the pulling performance of the anchor installed in 1.04 times the drill bit diameter was sufficiently secured. As a result of the reliability test of the M12 and M16 anchors with 1.02 times the drill bit diameter, the value of the coefficient of variation of the ultimate tensile load limit was within 20%, which satisfies the test standard. It was shown to be about 136% and 168% of the design strength, indicating that the pulling-out performance of the anchor installed in 1.02 times the drill bit diameter is sufficiently secured.

**Keywords:** Post-installed anchor, Reliability test, Standard deviation, Coefficient of variation, Pull-out test

### 1. 서 론

콘크리트용 앵커는 기존 콘크리트 구조물에 구조체나 비구조체를 연결하는 요소로서, 외부하중을 콘크리트 구조물에 전달하는 구조재료로 많이 사용되고 있다. 콘크리트용 앵커는 일반적으로 선설치 앵커와 후설치 앵커로 나뉜다. 선설치 앵커는 외부하중을 콘크리트 구조물에 전달하는 하중전달 성능과 정착성능이 우수하지만, 콘크리트가 경화된 후에는 리모델링이나 내진보강 등의 시공목적에 따른 설치가 불가능하다. 이러한 이유로 인해 최근에는 선설치 앵커보다 하중전달 성능 및 정착성능은 다소 부족하지만 시공목적에 따라 수정이 자유로운 후설치 앵커를 많이 사용하고 있다(Hur et al., 2021).

후설치 앵커는 건축물 및 토목 구조물 등 다양한 건설 분야

에 사용되고 있으며, 후설치 앵커의 부족한 성능을 개선하기 위한 다양한 연구와 관련 기준이 적극적으로 개정되면서 후설치 앵커의 사용범위가 확장되고 있는 실정이다(Bang et al., 2020; Chen et al., 2020; Gontarz and Podgórski, 2019; Delhomme et al., 2018; Tsavdaridis et al., 2016; Mahrenholtz et al., 2015).

이에 본 연구에서는 기존연구(Hur et al., 2021)에서 개발된 비틀림 제어 확장 후설치 앵커를 활용하여 “콘크리트용 앵커 설계기준(KDS 14 20 54) 및 콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집(KCI 2018)”에서 제시하고 있는 신뢰성 시험을 통해 그 성능을 검증하고자 한다. 시험대상 앵커는 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 M12, M16 비틀림 제어 확장 앵커를 대상으로 하였으며, 극한인장하중의 허용기준, 변동계수 및 유효계수를 만족하고 있는지 검토하였다.

### 2. 비틀림 제어 확장 앵커

비틀림 제어 확장 앵커는 Fig. 1과 같이 콘크리트 모체에 삽입되는 정착부(앵커 샤프트, 슬리브, 헤드)와 삽입과 토크 값 가력을 위한 타격부(와셔 및 너트)로 구성되어 있다. 비틀림 제어 확장 앵커는 시공이 간편하고 빠르며, 연속적인 작업 및

<sup>1</sup>정회원, 단국대학교 건축학부, 박사과정

<sup>2</sup>정회원, 단국대학교 건축학부, 교수, 공학박사

<sup>3</sup>정회원, 단국대학교 건축학부, 연구교수, 공학박사

<sup>4</sup>정회원, (주)원진, 기술연구소 연구소장

\*Corresponding author: hmw01@nate.com

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

•본 논문에 대한 토의를 2023년 3월 31일까지 학회로 보내주시면 2023년 4월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

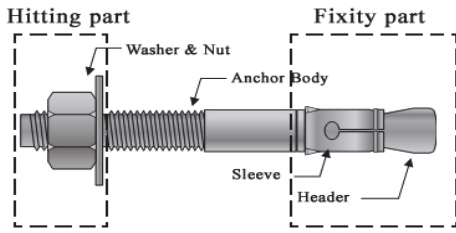


Fig. 1 Torsion control expansion anchor shape

외부 부착물 부착에 적합한 앵커이다. 또한, 다른 앵커 대비 짧은 문힘 깊이를 가져도 충분한 정착성능을 확보할 수 있어 다양한 분야에 많이 사용되고 있다.

### 3. 비틀림 제어 확장 앵커의 성능검증계획

기존 연구에서 개발된(Hur et al., 2021) 비틀림 제어 확장 앵커의 시공정밀도를 평가하기 위한 신뢰성시험을 수행하였다. 신뢰성시험을 수행하기 위한 시험기준 및 조건은 “콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집”의 제 3편 기계식 후설치 앵커의 평가지침 8절에 제시된 기준 및 조건을 따라 수행하였다. 신뢰성시험은 앵커의 시공정밀도를 평가하기 위한 시험으로, 앵커가 설치되거나 설치할 때 정상적이거나 불리한 조건에서 안정한 거동을 나타낼 수 있는가를 검증하는 시험이다.

비틀림 제어 확장 앵커는 설치 시 설계기준이나 제조사에서 제시하고 있는 설치 기준을 따라 허용된 범위의 드릴비트를 이용하여 설치하게 된다. 하지만, 허용 범위 외 드릴비트를 사용하여 앵커를 설치하게 된다면 앵커는 제 성능을 발휘할 수 없게 되며 탈락을 유발시킬 수 있다. 또한, 표준 직경 보다 큰 직경의 드릴비트를 사용하여 앵커를 설치하면 앵커의 슬리브가 확장하여도 충분한 마찰력(Friction force)과 걸림력(Janning force)을 확보하지 못하여 앵커의 성능을 저하시킬 수 있다. 표준 직경 보다 작은 직경의 드릴비트를 사용하여 앵커를 설치하면, 앵커 삽입 시 슬리브가 확장할 수 있는 공간을 확보 할 수 없으며 설치하여도 콘크리트 천공 홀 직경보다 큰 앵커의 직경으로 인해 콘크리트 홀에 인장력을 작용시키고 콘크리트 균열을 유발하여 쪼개짐파괴를 발생시킬 수 있다.

콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집의 “제 3편 기계식 후설치 앵커의 평가지침 표 4.1 앵커 시스템 평가를 위한 시험 프로그램(비균열 콘크리트)”의 시험조건”을 보면 시험번호 4와 시험번호 5(인장-연단거리 영향을 받지 않는 단일 앵커의 드릴비트 직경에 대한 민감도 시험)가 본 연구에서 평가하고자 하는 시험계획에 해당된다.

콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집에 제시된 시험조건을 따라 콘크리트 강도는 1.04배 드릴비트 직경의 경우 저강도 콘크리트, 1.02배 드릴비트 직경 경우에는 고강도 콘크리트를



(a) 1.02( $d_{min}$ )

(b) 1.04( $d_{max}$ )

Fig. 2 Drill bit diameter measurement(M12)



(a) 1.02( $d_{min}$ )

(b) 1.04( $d_{max}$ )

Fig. 3 Drill bit diameter measurement(M16)

사용하여 콘크리트 모재를 계획하였다. 또한, 앵커를 설치하기 위한 유효 문힘 깊이 및 토크 값(비틀림 제어 확장앵커의 경우, 시험기준을 따라  $T=0.5T$ 를 적용함)은 제조사에서 제시하고 있는 값을 사용하였으며, Table 1에 나타내었다.

시험번호 4 및 시험번호 5의 각 직경별 앵커 드릴비트 직경은 콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집에 제시된 값을 활용하여 Table 2에 나타내었다. 앵커를 설치하기 전 버니어 캘리퍼스를 이용하여 각 직경별 앵커 드릴비트의 큰 직경 및 작은 직경을 측정하였으며, Fig. 2 및 Fig. 3과 같이 시험조건을 만족하였다.

드릴비트 직경에 따른 앵커의 인발시험을 위한 콘크리트 모재는 Fig. 4와 같이 계획하였다. 콘크리트 모재 시험체는

Table 1 Stud Anchor Program

Diameter	M12	M16
$h_{ef}(mm)$	70	80
$T(N\cdot m)$	0.5T(N·m)	50
	25	100
		50

Table 2 Drill bit diameter for each variable of anchor (UNIT:mm)

Diameter	M12	M16
Reference hole( $d_0$ )	12.00	16.00
1.04 times drill bit diameter( $d_{max}$ )	12.45 ~ 12.50	16.45 ~ 16.50
	12.47	16.52
1.02 times drill bit diameter( $d_{min}$ )	12.10 ~ 12.20	16.10 ~ 16.20
	12.19	16.12

1,800×1,800×300mm(b×d×h) 규격으로 제작하였으며, 앵커의 순수 인발성능만을 검토하기 위해 콘크리트 내부 철근은 배근하지 않았다. 또한, 각 앵커 설치 및 실험 시 앵커 간 콘크리트 투영과피면적에 영향을 주지 않도록 앵커 간 간격은  $3.0h_{ef}$  이상이 되도록 계획하여 설치하였다. 콘크리트 강도는 시험 기준을 따라 1.04배 드릴비트 직경 시험에 대한 콘크리트(허용범위 17~28MPa) 강도는 21MPa의 저강도 콘크리트로 계획하였고, 1.02배 드릴비트 직경 시험에 대한 콘크리트(허용범위 45~60MPa) 강도는 45MPa의 고강도 콘크리트로 계획하였다. 실험을 위한 앵커 수량은 시험기준을 따라 최소 개수인 5개로 계획하였다.

Fig. 5는 각 드릴비트 직경에 따른 앵커 시험을 위한 콘크리트 모재 제작 및 앵커 설치과정을 나타내었다. 콘크리트 시험

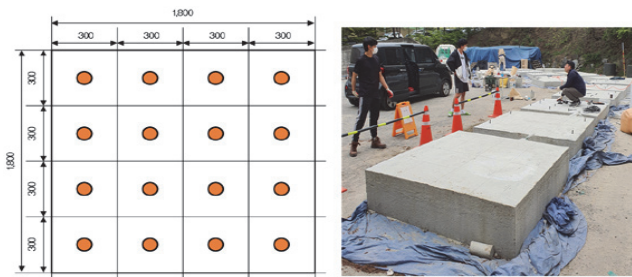


Fig. 4 Preparation of specimens

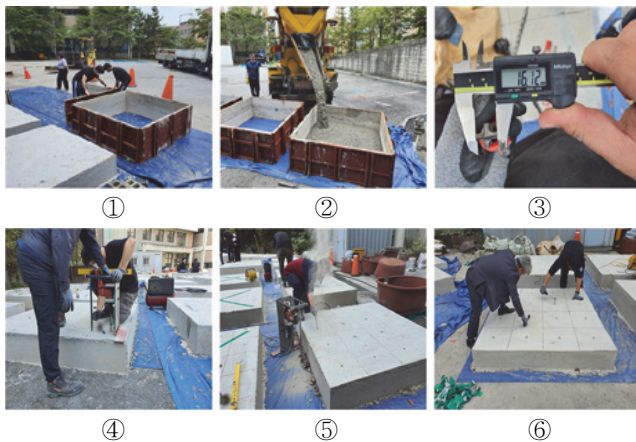


Fig. 5 Manufacturing of specimens

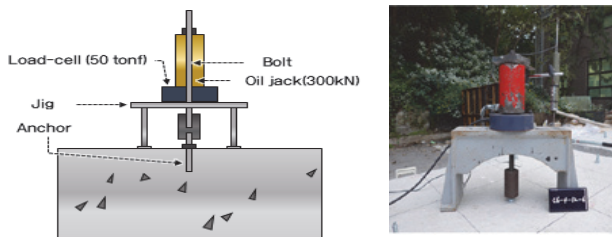


Fig. 6 Pull-out test set-up

체는 ① 거푸집 제작, ② 콘크리트 타설 및 양생, ③ 각 변수별 드릴비트 직경 측정 및 홀 천공, ④ 천공홀 청소, 천공직경 및 문힘 깊이 검토, ⑤ 앵커 설치 및 실험 순으로 진행하였다.

드릴비트 직경에 따른 앵커의 인발실험을 위한 셋팅은 Fig. 6에 나타내었다. 콘크리트 모재에 설치된 앵커의 나사산부에 연결철물을 설치하고, 측정 및 가력장치를 설치하기 위한 인발지그를 앵커의 중심에 위치하도록 배치하였다. 인발지그에는 로드셀(500kN)과 유압실린더(300kN)를 설치하였고, 전산볼트로 연결철물-로드셀-유압실린더 순으로 연결하여 일체화되도록 체결하였다. 앵커의 콘크리트 정착을 위한 슬리브 확장 토크 값은 제조사에서 제시하고 있는 토크 값으로 비틀림을 가력하였고, 10분이 경과된 후 기존 토크를 제거하고 다시 50%의 토크를 가력한 뒤 실험을 수행하였다.

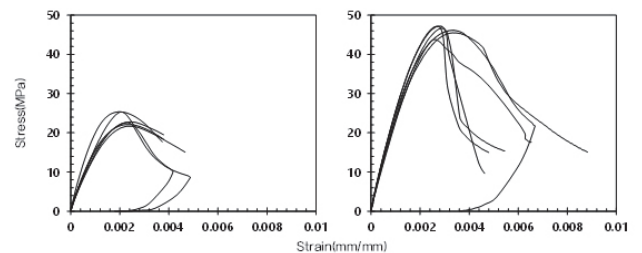
## 4. 비틀림 제어 확장 앵커의 성능검증실험

### 4.1 콘크리트 재료시험

콘크리트 모재의 28일 압축강도 시험결과, 저강도 콘크리트는 23.3MPa, 고강도 콘크리트는 46.1MPa로 나타나 “콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집(KCI 2018)”에서 제시한 시험 기준의 콘크리트 강도 허용범위를 만족하였다(Fig. 7 참조).

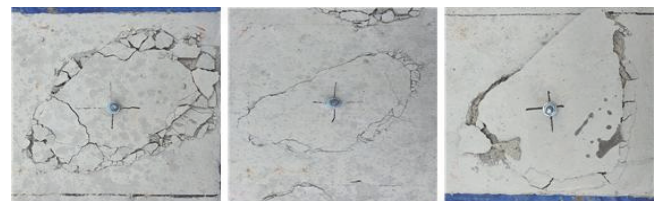
### 4.2 M12 앵커의 기준시험 및 신뢰성시험 시험결과

Table 3은 M12 앵커의 기준시험결과와 드릴비트 직경에 따른 인발시험 결과를 나타내었고, Fig. 8은 최종 파괴형상을 나타내었다.



(a) Low concrete strength (b) High concrete strength

Fig. 7 Compressive strength of concrete



(a)  $d_m$  (b)  $d_{max}$  (c)  $d_{min}$

Fig. 8 M12 pull-out test failure mode

M12 앵커의 기준시험 중 저장도 콘크리트의 평균인발하중은 44.0kN, 표준편차는 3.1, 변동계수는 6.9%로 나타났고, 고강도 콘크리트의 평균인발하중은 51.6kN, 표준편차는 3.0, 변동계수는 5.7%로 나타났다. 이는 콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집에서 제시하고 있는 극한인장하중의 허용기준 변동계수 값인 15.0% 이내의 값을 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 모든 시험체의 파괴형상은 콘크리트 콘파괴로 나타나 앵커의 성능은 충분히 확보되었음을 알 수 있었다.

1.04배 드릴비트 직경에 적용된 앵커 시험 결과 평균인발하중은 32.5kN, 표준편차는 1.6 및 변동계수는 4.9%로 나타났다. 이에 1.04배 드릴비트 직경에 적용된 M12 앵커의 신뢰성 시험 중 극한인장하중의 허용기준 변동계수 값인 20.0% 이내의 값을 만족하였다. 또한, 모든 시험체의 파괴형상도 기준 시험체와 유사하게 콘크리트 콘파괴로 나타나 1.04배의 드릴비

트 직경에서도 앵커의 슬리브가 충분히 확장되어 앵커의 성능이 확보되는 것을 알 수 있었다.

1.02배 드릴비트 직경에 적용된 앵커 시험 결과 평균 인발하중은 24.7kN, 표준편차는 0.7 및 변동계수는 3.0%로 나타났다. 1.02배 드릴비트 직경을 가진 M12 앵커도 극한 인장하중의 허용기준 변동계수 값인 20.0%를 만족하는 것으로 나타났다. 파괴형상은 콘크리트 콘파괴(1개), 쪼개짐 균열 및 뿔힘파괴(4개) 양상을 나타내었다. 이러한 결과는 1.02배의 드릴비트 직경에 적용된 앵커의 슬리브가 확장할 수 있는 공간이 적어 앵커와 콘크리트 사이의 결립력이 감소하여 나타난 것으로 판단된다.

### 4.3 M16 앵커의 기준시험 및 신뢰성시험 시험결과

Table 4는 M16 앵커의 기준시험결과와 드릴비트 직경에 따른 인발시험 결과를 나타내었고, Fig. 9는 각 시험별 최종

Table 3 Pull-out test result(M12)

NO.	1.04 times drill bit diameter( $d_{max}$ )						1.02 times drill bit diameter( $d_{min}$ )					
	Reference( $d_m$ )			Test( $d_{max}$ )			Reference( $d_m$ )			Test( $d_{min}$ )		
	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode <sup>1)</sup>	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode <sup>1)</sup>	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode <sup>1)</sup>	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode <sup>1)</sup>
1	47.5	9.3	CB	34.7	7.9	CB	52.2	9.8	CB	24.2	6.9	P
2	43.9	10.6	CB	33.0	6.5	CB	49.8	6.3	CB	24.2	7.5	CB
3	38.4	10.8	CB	33.5	7.9	CB	52.4	6.1	CB	24.1	5.7	P
4	45.5	9.6	CB	30.8	1.9	CB	47.4	8.0	CB	26.1	9.9	P
5	44.9	8.9	CB	30.6	8.8	CB	56.3	7.5	CB	24.7	9.7	P
Average(kN)	44.0	9.8	-	32.5	6.6	-	51.6	7.5	-	24.7	7.9	-
Standard Deviation		3.1			1.6			3.0			0.7	
Coefficient of variation(%)		6.9			4.9			5.7			3.0	

<sup>1)</sup> CB : concrete cone failure, P : pullout failure

Table 4 Pull-out test result(M16)

NO.	1.04 times drill bit diameter( $d_{max}$ )						1.02 times drill bit diameter( $d_{min}$ )					
	Reference( $d_m$ )			Test( $d_{max}$ )			Reference( $d_m$ )			Test( $d_{min}$ )		
	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode <sup>1)</sup>	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode <sup>1)</sup>	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode <sup>1)</sup>	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode <sup>1)</sup>
1	55.7	9.1	CB	33.8	6.7	CB	71.3	13.5	CB	38.7	10.3	CB
2	57.6	8.4	CB	32.8	8.8	CB	69.6	11.1	CB	37.4	9.2	CB
3	68.8	8.7	CB	32.0	9.8	CB	69.6	10.7	CB	35.5	10.0	CB
4	60.4	9.6	CB	32.6	7.3	CB	67.2	12.1	CB	37.7	8.6	CB
5	55.9	8.3	CB	33.8	6.5	CB	73.6	16.0	CB	35.8	10.5	CB
Average(kN)	59.7	8.8	-	33.0	7.8	-	70.3	12.7	-	37.0	9.7	-
Standard Deviation		4.9			0.7			2.1			1.2	
Coefficient of variation(%)		8.1			2.1			3.0			3.2	

<sup>1)</sup> CB: concrete cone failure, P: pullout failure

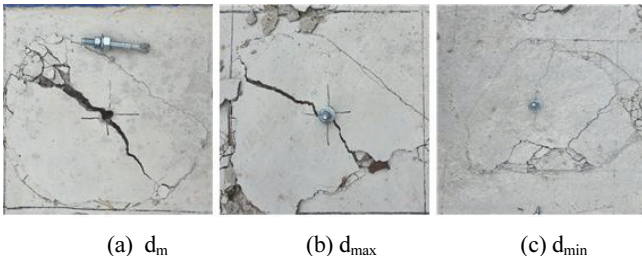


Fig. 9 M16 pull-out test failure mode

파괴형상을 나타내었다.

M16 앵커 기준시험 중 저강도 콘크리트의 평균인발하중은 59.7kN, 표준편차는 4.9, 변동계수는 8.1%로 나타났고, 고강도 콘크리트의 평균인발하중은 70.3kN, 표준편차는 2.1, 변동계수는 3.0%로 나타났다. 이는 “콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집(KCI 2018)”에서 제시하고 있는 극한인장하중의 허용 기준 변동계수 값인 15.0% 이내의 값을 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 모든 시험체의 파괴형상이 콘크리트 콘파괴로 나타나 앵커의 성능은 충분히 확보되었음을 알 수 있었다.

1.04배의 드릴비트 직경에 적용된 앵커 시험 결과 평균인발하중은 33.0kN, 표준편차는 0.7 및 변동계수는 2.1%로 나타났다. 신뢰성 시험의 극한인장하중 허용기준 변동계수인 20% 이내의 값을 만족하였으며, 파괴형상 또한 콘크리트 콘 파괴를 나타내어 M12와 동일하게 성능을 충분히 발휘하는 것을 알 수 있었다. 1.02배의 드릴비트 직경에 적용된 앵커 시험 결과 평균인발하중은 37.0kN, 표준편차는 1.2 및 변동계수는 3.2%로 나타났으며, 신뢰성시험의 극한인장하중 허용기준 변동계수인 20% 이내의 값을 만족하였다.

또한, 시험체의 파괴형상이 모두 콘크리트 콘파괴로 나타나 M16 앵커는 1.02배 드릴비트 직경에 설치되어도 앵커의 슬리브가 충분히 확장되었음을 알 수 있었다.

#### 4.4 극한인발하중 설계값과 실험결과 비교

앵커의 인장하중에 대한 설계강도는 강제파괴, 뿔힘파괴, 콘크리트 콘파괴 중 가장 작은 값인 콘크리트 콘파괴 강도를 설계강도로 산정하였으며, 콘크리트 콘 파괴에 대한 설계식은 식 (1) 및 식 (2)와 같다. 콘크리트 콘 파괴 강도식의 콘크리트 강도 감소계수는 기준 및 설계법에 제시된 ‘조건 B(보조철근이 없거

나 뿔힘강도 또는 프라이아웃강도가 지배적일 때)와 ‘범주 2 (중간 설치 민감도와 중간 신뢰도)’의 값을 고려하였다.

$$\phi N_{cb} = \phi \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (1)$$

$$N_b = k_c \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5} \quad (2)$$

Table 5 및 Table 6은 각 직경별 앵커의 기준시험과 신뢰성 시험의 시험결과를 설계값과 비교하여 나타내었다. 1.04배 드릴비트 직경에 따른 M12 앵커의 경우, 기준시험결과 대비 약 74% 정도로 나타나 성능은 부족하게 나타났다. 이러한 사유는 큰 드릴비트 직경으로 인해 앵커의 슬리브와 헤드의 유격이 증가하였고 이로 인해, 걸림력과 마찰력이 감소하였기 때문으로 사료된다. 하지만, 설계강도 대비 약 253% 정도로 높게 나타나 1.04배 드릴비트 직경을 가진 앵커는 충분한 인발 성능을 확보하는 것을 알 수 있었다. 1.02배 드릴비트 직경의 경우, 기준시험결과 대비 약 48% 정도로 나타내었다. 이러한 사유는 1.02배의 드릴비트 직경으로 인해 슬리브가 충분히 확장되지 못하여 이러한 결과가 나타난 것으로 사료된다.

하지만, 설계강도 대비 약 136% 정도의 성능을 나타내어 M12 앵커는 1.02배 드릴비트 직경을 가졌을 때도 충분한 인발 성능을 확보하는 것을 알 수 있었다.

M16 앵커의 1.04배 드릴비트 직경의 경우, 기준시험결과 대비 약 55.0% 정도로 낮게 나타났다. 이는 앞서 기술한 M12 앵커와 동일한 원인으로 앵커가 콘크리트에 저항하기 위한 마찰력이나 걸림력이 부족한 것으로 사료된다. 하지만, 설계강도 대비 약 210.0% 정도의 성능을 나타내어 1.04배 드릴비트 직경을 가진 앵커의 성능은 충분히 확보할 수 있음을 알 수 있었다. 1.02배 드릴비트 직경의 경우, 기준시험결과 대비 약 53% 정도로 낮게 나타났으며, M12 앵커와 동일한 원인으로 앵커의 성능을 저하된 것으로 나타났다. 하지만, 설계강도 대비 약 168% 정도의 성능을 나타내어 1.02배 드릴비트 직경을 가진 앵커의 성능은 충분히 확보할 수 있음을 알 수 있었다.

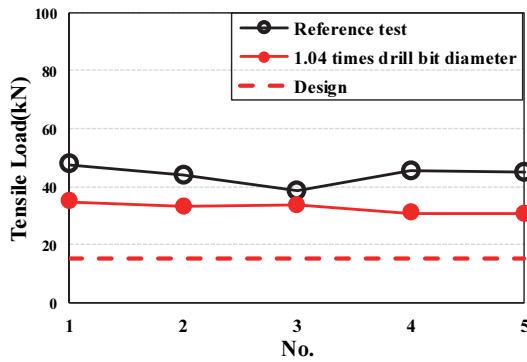
M12 및 M16의 각 드릴비트 직경에 따른 실험결과 기준시험 결과 대비 성능은 다소 떨어지지만, 설계강도 값 보다는 큰 값

Table 5 Comparison of design values and test values(M12)

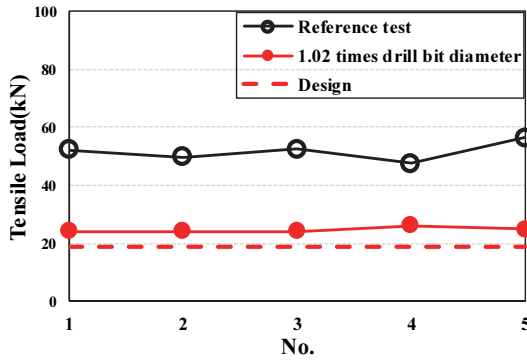
Contant	1.04 times drill bit diameter( $d_{max}$ )			1.02 times drill bit diameter( $d_{min}$ )		
	Design Value (kN)	Test Value(kN)		Design Value (kN)	Test Value(kN)	
		Reference	Large		Reference	Small
Result	12.9	44.0	32.5	18.1	51.6	24.7

Table 6 Comparison of design values and test values(M16)

Contant	1.04 times drill bit diameter( $d_{max}$ )			1.02 times drill bit diameter( $d_{min}$ )		
	Design Value (kN)	Test Value(kN)		Design Value (kN)	Test Value(kN)	
		Reference	Large		Reference	Small
Result	15.7	59.7	33.0	22.7	70.3	37.0

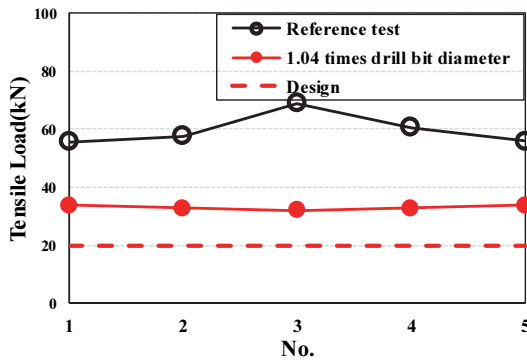


(a) 1.04 times drill bit diameter

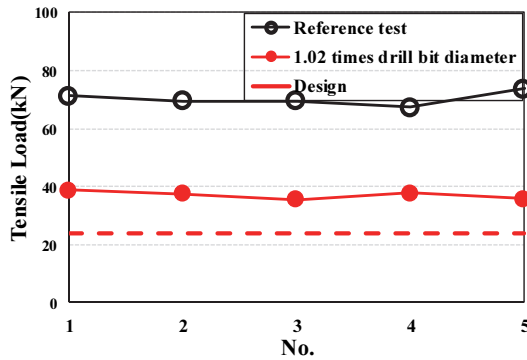


(b) 1.02 times drill bit diameter

Fig. 10 Comparison of design values and test values(M12)



(a) 1.04 times drill bit diameter



(b) 1.02 times drill bit diameter

Fig. 11 Comparison of design values and test values(M16)

을 나타내어 현장 적용 시 1.04배 드릴비트 직경 및 1.02배 드릴비트 직경조건에서도 충분히 적용 가능할 것으로 판단된다 (Fig.10 및 Fig.11 참조).

## 5. 결론

본 연구에서는 드릴비트 직경에 따른 앵커의 신뢰성시험을 수행하였다. 각 변수별 시험을 통해 앵커의 표준편차 및 변동계수를 검토하였고, 기준시험 결과와 비교 평가하였다. 또한, 기준에 제시된 설계 강도를 산정하여 실험결과와 비교하였다. 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1.04배 드릴비트 직경을 가진 M12 및 M16 앵커의 신뢰성시험결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 각각 4.9% 및 2.1%로 나타나 신뢰성 시험의 극한인장하중 허용기준 변동계수 값인 20% 이내의 값을 나타내어 시험기준을 만족하였다. 또한, 1.04배 드릴비트 직경을 가진 앵커의 성능은 기준 시험 대비 M12 앵커는 약 74%, M16 앵커는 약 55% 정도로 나타나 앵커의 내력이 다소 부족한 성능을 나타냈지만, 설계강도 대비 약 253% 및 210%로 나타나 .04배 드릴비트 직경에 설치된 앵커의 인발성능은 충분히 확보하고 있음을 알 수 있었다.
- 1.02배 드릴비트 직경을 가진 M12 및 M16 앵커의 신뢰성시험결과, 각 직경별 앵커의 변동계수는 각각 2.1% 및 3.2%로 나타나 신뢰성 시험의 극한인장하중 허용기준 변동계수 값인 20.0% 이내의 값을 나타내어 시험기준을 만족하였다. 또한, 1.02배 드릴비트 직경을 가진 앵커의 성능은 기준시험 대비 M12 앵커는 약 48%, M16 앵커는 약 53% 정도로 나타나 다소 부족한 성능을 나타냈지만, 설계강도 대비 약 136% 및 168% 로 나타나 1.02배 드릴비트 직경에 설치된 앵커의 인발성능은 충분히 확보하고 있음을 알 수 있었다.
- 기존연구에서 개발된 비틀림 제어 확장 앵커의 경우 1.04 배 드릴비트 직경 및 1.02배 드릴비트 직경 모두 시험결과가 설계 강도 보다는 큰 내력을 나타내어 신뢰성이 향상됨을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 논문은 한국연구재단 이공분야 대학중점연구소지원사업 및 이공분야기초연구사업 및 창의도전연구기반지원사업(과제 번호: NRF-2018R1D1A1B07048570, NRF-2022R1I1A1A0106 389911)에 의한 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

## References

1. Hur, M. W., Chae, K. H., An, Y. S., and Park, T. W., (2021), Performance Evaluation of Post-installed Anchor according to Sleeve Length and Header Length, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 25(2), 8-15 (in Korean).
2. 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 (in Korean).
3. 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).
4. Gontarz, J., and Podgórski, J. (2019), Analysis of crack propagation in a “pull-out” test. *Studia Geotechnica et Mechanica*.
5. 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.
6. 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.
7. Mahrenholtz, P., and Eligehausen, R. (2015), Post-installed concrete anchors in nuclear power plants: Performance and qualification, *Nuclear Engineering and Design*, 287, 48-56.
8. KCI, 2018, Anchor design method and sample for concrete.

Received : 11/17/2022

Revised : 12/08/2022

Accepted : 12/12/2022

---

**요 지 :** 본 연구에서는 1.04배 드릴비트 직경 및 1.02배 드릴비트 직경 시 앵커의 신뢰성시험을 수행하였다. 각 변수별 시험을 통해 앵커의 표준편차 및 변동계수를 검토하였고, 기준시험 결과와 비교 평가하였다. 1.04배 드릴비트 직경을 가진 M12 및 M16 앵커의 신뢰성시험결과, 극한인장하중 허용기준 변동계수 값인 20% 이내의 값을 나타내어 시험기준을 만족하였다. 또한, 1.04배 드릴비트 직경을 가진 앵커의 성능은 기준시험 대비 M12 앵커는 약 74%, M16 앵커는 약 55% 정도로 나타나 앵커의 내력이 다소 부족한 성능을 나타냈지만, 설계강도 대비 약 253% 및 210%로 나타나 1.04배 드릴비트 직경에 설치된 앵커의 인발성능은 충분히 확보하고 있음을 알 수 있었다. 1.02배 드릴비트 직경을 가진 M12 및 M16 앵커의 신뢰성시험결과, 극한인장하중 허용기준 변동계수 값인 20% 이내의 값을 나타내어 시험기준을 만족하였다. 또한, 1.02배 드릴비트 직경을 가진 앵커의 성능은 기준시험 대비 M12 앵커는 약 48%, M16 앵커는 약 53% 정도로 나타나 다소 부족한 성능을 나타냈지만, 설계강도 대비 약 136% 및 168%로 나타나 1.02배 드릴비트 직경에 설치된 앵커의 인발성능은 충분히 확보하고 있음을 알 수 있었다.

**핵심용어 :** 후설치 앵커, 신뢰성 시험, 표준편차, 변동계수, 인발성능

---