

유효물힘깊이에 따른 후설치앵커의 인발성능평가

An Performance Evaluation of Post-installed Anchor according to the Effective Embedment Length

허 무 원* 채 경 훈** 안 영 승*** 박 태 원****
Hur, Moo-Won Chae, Kyoung-Hun An, Yeong Seung Hur, Moo-Won

Abstract

Concrete wedge anchor is one of structural components to transfer load of an object attached to a primary structure. Recently, as retrofitting concrete structure is becoming a main issue, mechanical capacity of the anchor should be secured enough. In spite of the structural safety of Cast-in-place anchor, Post-installed anchor is more widely used with ease of placement or change of construction method. However, the post-installed anchors domestically produced have excessive coefficient of variation over 15% of ultimate tensile strength, which yields deteriorated quality in tensile strength. In this research, tensile strength test of anchors, which have improved sleeve and header and produced by a domestic company, was conducted for two variables, concrete strength and effective embedment depth. As a result, enough coefficients of variations were secured in all specimens. Also, in comparison to foreign products, the domestic ones have equal or higher performance.

키워드 : 후설치앵커, 인발실험, 물힘깊이, 콘크리트 콘 파괴, 물힘깊이

Keywords : Post-stalled anchor, Pull-out test, Embedment length, Concrete cone breakout, Embedment depth

1. 연구배경 및 목적

포항지진(2017) 및 경주지진(2016) 이후 학교를 포함한 저층 철근콘크리트 건축물의 내진성능향상을 위한 내진보강공법에 대한 관심이 급증하고 있으며, 다양한 내진보강공법들에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 또한, 개발된 내진보강공법들이 실제 실무에 적용되는 사례도 증가하고 있다(Hur M. W. *et al.*, 2018; Oh, S. H. *et al.* 2018; Kim, Y. J. *et al.*, 2017; Roh, J. E. and Lee, S. H., 2016; Hur, M. W. *et al.*, 2016). 이러한 내진보강공법들은 내진보강 제품들과 기존 골조를 앵커로 연결하여 일체화 시키는

방법을 많이 활용하고 있다.

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

콘크리트용 앵커설계법 및 예제집(KCI, 2018)에 따르면 앵커는 콘크리트 타설 시 매립하는 선설치 앵커와 후설치 앵커로 분류할 수 있고 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 매립 위치 선정의 용이성, 추가적인 구조물 보강 등으로 인한 설계 및 시공 여건상 후설치 앵커가 많이 사용되고 있다. 그러나 국내에서 생산된 앵커는 극한인장하중의 변동계수가 15%를 초과해 인장력 및 품질신뢰성의 질적 저하가 발생한다. 그 결과 국내 220억 시장 규모 중 국내에서 생산된 앵커의 점유율은 약 20%에 불과한 실정이다(HILTI, 2016).

* Research Professor, Ph.D., Department of Architectural Engineering, Dankook Univ., Korea

** Master Course, Department of Architectural Engineering, Dankook Univ., Korea

*** Research Director, WONJIN, Korea

**** Associate professor, Department of Architectural Engineering, Dankook Univ., Korea

Corresponding Author,

Tel: 82-31-8005-3751, E-mail: tw001@dankook.ac.kr

후설치 앵커의 성능평가 및 설계 기준은 미국의 ACI code(ACI 355.2, 2011; ACI 318, 2011)와 유럽의 Euro code(ETAG, 1997)가 주로 활용되고 있다. 국내의 경우 ACI를 근간으로 하여 콘크리트구조기준해설(KBC, 2016)의 부록에 콘크리트용 앵커 설계에 관한 내용이 수록되어 있고 콘크리트용 앵커설계법 및 예제집(KCI, 2018)에 앵커시스템의 성능평가를 위한 시험방법들이 수록되어 있다.

후설치 앵커에 대한 연구동향으로는 확장앵커의 콘크리트 콘 파괴강도를 연구(Kim *et al.*, 2003), 단일앵커의 각 국 제안식을 비교하고 분석한 연구(Yun H. D., 2004), 중량물앵커의 인장시험을 통해 내력을 규명하고 기존 시험 연구와 비교분석한 연구(Hwang Y. S., 2011), 내진보강에 사용되는 콘크리트용 후설치 단일앵커의 인장 및 전단성능에 대한 연구(Kim H. S., 2015)를 수행하였다. 하지만, 다수의 시험군을 통한 국내 제조 앵커의 성능을 검증한 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 기계식 후설치 앵커 중 비틀림 제어 확장앵커를 비균열 콘크리트에 설치한 것으로 연구범위를 국한하고, 국내 A사의 앵커를 시험대상으로 선정하여 콘크리트 강도와 앵커의 유효물함 깊이를 변수로 단일 앵커에 대한 인장시험을 수행하였다. 또한, 인장시험 결과를 활용하여 해외 타사 제품과 비교 분석을 하였다.

2. 앵커의 이론적 고찰

2.1 파괴모드

후설치 앵커의 인장시험에서 발생하는 파괴는 콘크리트 파괴, 뿔힘 파괴, 측면파열, 쪼갬 파괴 및 강제파괴가 있다(ACI 355.2, 2011). 그러나 유효 물함 깊이를 충분히 하여 콘크리트파괴 및 뿔힘 파괴가 발생하는 것을 막거나, 연성

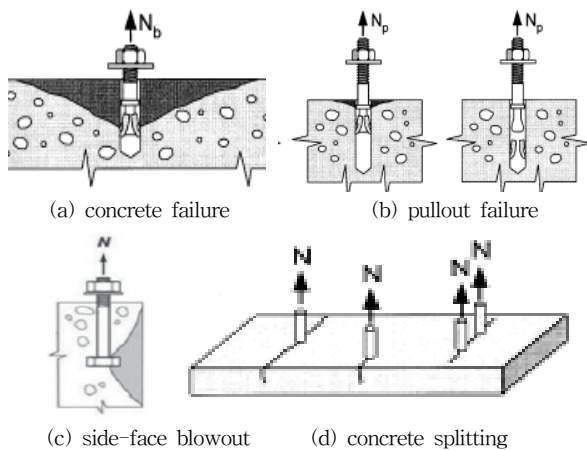


Figure 1. Failure mode

강재요소의 강도가 지배하도록 설계된 경우를 제외하면 일반적으로 강제파괴는 발생하지 않는다. 강제파괴를 제외한 나머지 파괴형상은 Figure 1에 나타내었다.

2.2 파괴강도의 산정식

2.2.1 콘크리트파괴

ACI 355.2에 따르면 단일앵커의 콘크리트 파괴강도는 유효물함 깊이와 콘크리트 강도에 영향을 받으며, 식 (1), (2)와 같이 산정된다.

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

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

- 여기서, A_{Nc} : 콘크리트 파괴체의 투영면적
- A_{Nco} : 연단거리가 $15h_{ef}$ 이상인 인장을 받는 단일 앵커 파괴면의 투영면적
- $\psi_{ed,N}$: 앵커의 연단거리에 대한 수정 계수
- $\psi_{c,N}$: 앵커의 콘크리트 균열에 대한 수정 계수
- $\psi_{cp,N}$: 콘크리트 쪼개짐에 대한 수정 계수
- N_b : 기본 콘크리트 파괴강도
- k_c : 인장에 의한 기본 콘크리트 파괴강도 계수
- f_{ck} : 콘크리트 설계기준 압축강도
- h_{ef} : 앵커의 유효물함깊이

단일앵커의 연단거리가 $15h_{ef}$ 이상이고 인접한 앵커에 의해 영향을 받지 않는 경우 A_{Nc}/A_{Nco} 와 $\psi_{ed,N}$ 는 1.0이다. 보조철근이 없는 경우 연단거리가 $4h_{ef}$ 이상이면 $\psi_{cp,N}$ 은 1.0이다. 콘크리트 파괴는 단부 가까이 있는 앵커에 위험한 파괴이다.

2.2.2 측면파열

ACI 355.2에 따르면 측면파열 강도는 헤드의 지압면적, 연단거리, 콘크리트 강도에 영향을 받고 식 (3)과 같이 산정된다.

$$N_{sb} = 13c_{a1} \sqrt{A_{brg}} \sqrt{f_{ck}} \quad (3)$$

- 여기서, A_{brg} : 앵커 헤드의 지압 면적
- c_{a1} : 앵커샤프트 중심부터 콘크리트 단부까지 거리

2.2.3 강제파괴

강제파괴의 강도는 앵커의 유효단면적과 인장강도에 영

항을 받으며 식 (4)와 같이 산정된다.

$$N_{sa} = nA_{se,N}f_{uta} \quad (4)$$

여기서, n : 앵커의 수 (단일앵커의 경우 $n=1$)
 $A_{se,N}$: 인장력을 받는 앵커의 유효 단면적
 f_{uta} : 앵커강재의 설계기준 인장강도

가장 이상적인 파괴모드는 앵커강재의 연성파괴를 유도하는 것이고, 식 (1)~(4) 중 가장 낮은 강도를 기준으로 앵커를 설계하게 된다.

3. 후설치 앵커의 성능시험

3.1 앵커 성능 실험

성능시험을 수행하기 위해서는 주요 특성값과 일치하는 지를 평가하기 위한 특성시험을 수행해야 한다. 또한 기준 시험을 수행해 성능을 정립하고 후에 신뢰성 시험을 수행해 앵커의 신뢰도를 측정하여야 한다. 그러나 본 연구의 범위는 기준시험에 국한되므로 기준시험만을 수행하였으며 시험 프로그램은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Test program for evaluating anchor systems(ACI 355-2)

No.	Purpose	Concrete strength	Minimum sample size
1	Reference test in uncracked normal-strength concrete	Normal	5
2	Reference test in uncracked high-strength concrete	High	5

앵커를 설치하기 위해 1800×1800×250mm의 콘크리트 시편을 제작하였다. 콘크리트 시편은 비균열 콘크리트이며, 콘크리트 파괴에 영향을 미치는 철근은 배근하지 않았다. 콘크리트 시편은 Figure 2와 같이 최소 부재두께 $h_{min}=1.5h_{ef}$ 이상으로 제작하였으며 쪼갬 방지 및 상호 영향을 주지 않기 위해 최소 앵커간격 $s_{min}=6d_0$ 이상으로 앵커를 설치하였다. 또한, 위험연단거리를 고려하여 최소 연단거리



Figure 2. Preparation of specimens

$c_{min}=8d_0$ 이상을 유지하면서 앵커를 설치하였다. 콘크리트의 강도는 콘크리트용 앵커설계법 및 예제집(KCI, 2018)의 기준에 따라 일반강도 24MPa, 고강도 48MPa로 계획하였다. 28일 압축강도 시험 결과 일반강도는 28MPa, 고강도는 50.5MPa로 나타났다.

3.2 시험 방법

앵커에 연결철물을 체결하고 앵커가 지그의 중심에 오도록 Figure 3과 같이 설치하였다. 지그는 로드셀(500kN)과 결속하였으며 로드셀 위에 실린더(300kN)를 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 Table 2에 나타내었으며 토크를 가한 후 10분이 경과하면 토크를 완전히 제거하고 다시 50%의 토크를 가하여 시험을 수행하였다.

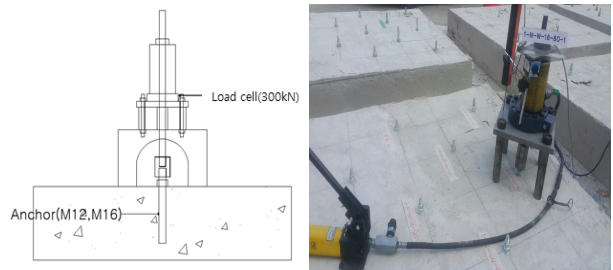


Figure 2 Anchor test set-up

Table 2 Installation torque

	M8	M10	M12	M16
Torque(N·m)	15	30	50	100

3.3 문힘깊이에 따른 앵커성능시험

국내에서 제작한 앵커의 성능을 평가하고 유효 문힘 깊이 및 콘크리트 강도에 따른 인장하중의 데이터를 얻기 위해 Table 3과 같이 시험군을 선정하여 시험을 수행하였다. 시험체 명은 콘크리트 강도-직경-유효문힘 깊이로 명명하였다. 기준시험의 경우 규정에 의해 시험군 당 최소 5개 이상의 앵커 시험체가 필요한데, 다수의 샘플로 정밀한 시험을 하기 위해 각 시험군마다 10개의 앵커 시험체를 제작하여 총 80개의 앵커 시험체에 대해 시험을 수행하였다.

Table 3 Test variable

Concrete strength	Diameter(mm)	Effective embed depth(mm)
Normal	12	50, 70
	16	64, 80
High	12	50, 70
	16	64, 80

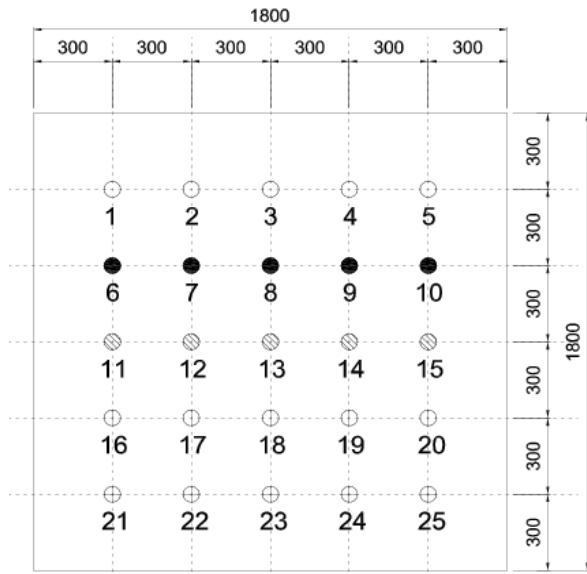


Figure 4 Anchor location of specimen

4. 시험결과

Figure 5는 일반강도 시험체의 시험결과이며, 대부분의 앵커 시험군에서 콘크리트 콘(Cone) 파괴가 지배적으로 발생하였고 일부 앵커 시험군에서는 앵커의 뽑힘파괴도 발생하였다. 고강도 콘크리트의 경우에도 일반강도 시험체와 유사하게 앵커의 파괴양상은 대부분이 콘 파괴형태를 나타내었고, 일반강도의 파괴면적보다 큰 형태를 유지하였다.

Table 4와 Table 5에 M12와 M16의 앵커 시험결과를 나타내었다. M12 앵커의 경우 콘크리트구조기준에 제시된



Figure 5 Test result(normal concrete)

유효 문힘 깊이는 70mm이며, 짧은 문힘 깊이 성능검토를 위해 문힘 깊이 50mm에 대해서도 시험을 수행하였다. 일반강도 콘크리트 시험결과 유효 문힘 깊이가 70mm인 경우 표준편차는 5.1로 나타났고, 변동계수는 12.6%로 나타났다. M12 앵커 중 짧은 문힘 깊이인 문힘 깊이 50mm인 경우에는 앵커의 문힘 깊이가 짧아져 각각의 시험체의 최대하중 편차가 커지는 결과가 나타났다. 이로 인해 변동계수가 증가한 것으로 나타났지만 기준에서 제시하는 변동계수 15%는 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 고강도 콘크리트 시험결과 유효 문힘 깊이가 70mm인 경우 표준편차는 5.3로 나타났고, 변동계수는 10.9%로 나타났다. 짧은 문힘 깊이인 문힘 깊이 50mm인 경우에도 변동계수는 만족하는 것으로 나타났다. 하지만, 일반강도 콘크리트와 유사하게 문힘 깊이가 짧아지면 최대하중의 편차가 증가하여 변동계수가 증가하는 것을 알 수 있었다.

M16 앵커의 경우에는 콘크리트구조기준에 제시된 유효 문힘 깊이는 80mm이며, 짧은 문힘 깊이 성능검토를 위해 문힘 깊이 64mm에 대해서도 시험을 수행하였다. 일반강도 콘크리트 시험결과, 유효 문힘 깊이가 80mm인 경우

Table 4 M12 anchor test result

NO.	N ¹⁾ -50			N-70			H ²⁾ -50			H-70		
	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ³⁾	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ¹⁾	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ¹⁾	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ¹⁾
1	22.2	2.34	CB	47.5	9.16	PF	31.46	4.37	CB	51.17	9.79	CB
2	27.97	3.45	CB	43.86	10.57	PF	31.02	4.6	CB	49.81	6.3	CB
3	33.67	4.68	CB	31.81	9.06	PF	32.84	5.1	PF	51.36	6.1	CB
4	32.83	4.43	CB	35.39	5.6	CB	31.7	4.6	CB	47.39	7.98	CB
5	26	2.52	CB	43.3	10.8	CB	27.92	3.59	CB	51.27	7.5	CB
6	30.27	1.88	CB	38.43	12.31	CB	36.04	4.35	CB	49.55	5.65	CB
7	27.15	5.28	CB	45.46	9.61	CB	22.38	4.4	CB	47.42	9.31	CB
8	33.69	8.47	CB	44.87	8.93	CB	33.97	5.04	PF	34.16	28.79	CB
9	35	4.63	CB	41.46	6.36	CB	32.59	3.21	CB	52.37	7.84	CB
10	28.37	4.57	CB	36.07	21.1	PF	33.71	5.23	CB	48.17	6.49	CB
Average	29.7	4.2		40.8	10.4		31.4	4.4		48.3	9.6	
Standard Deviation	4.1			5.1			3.8			5.3		
Coefficient of variation	13.8			12.6			12.1			10.9		

1) N : Normal concrete
3) CB : concrete cone failure

2) H : High concrete
4) PF : pullout failure

Table 5 M16 anchor test result

NO.	N ¹⁾ -64			N-80			H ²⁾ -64			H-80		
	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ³⁾	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ¹⁾	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ¹⁾	Load (kN)	Displ. (mm)	Failure mode ¹⁾
1	53.57	3.14	CB	55.71	9.12	CB	59.2	6.1	CB	71.51	9.39	CB
2	59.36	8.28	CB	54.42	9.71	CB	43.9	5.8	CB	67.2	10.95	CB
3	49.57	4.93	CB	60.39	9.6	CB	45.7	3.3	CB	64.81	15.36	PF
4	46.08	3.41	CB	68.83	8.68	CB	47.4	4.9	CB	72.3	7.54	CB
5	49.83	4.12	CB	52.8	7.58	CB	52.4	7.4	CB	69.3	10.81	CB
6	54.28	4.46	CB	54.18	6.46	CB	42.2	4.9	CB	72.35	5.81	CB
7	53.57	2.93	CB	55.92	8.32	CB	39.7	3.8	CB	63.76	9.94	CB
8	64.65	4.98	CB	57.57	8.43	CB	48.8	5.5	CB	77.25	10.74	CB
9	45.56	4.5	CB	73.51	8.55	PF	49.8	6.0	CB	64.51	10.43	PF
10	43.66	4.18	CB	64.2	11.41	CB	52.3	5.4	CB	59.16	11.45	CB
Average	52.0	4.5		59.8	8.8		48.1	5.3		68.2	10.2	
Standard Deviation	6.5			7.0			5.7			5.3		
Coefficient of variation	12.5			11.6			11.8			7.8		

1) N : Normal concrete
3) CB : concrete cone failure

2) H : High concrete
4) PF : pullout failure

표준편차는 7.0으로 나타났고, 변동계수는 11.6%로 나타났다. M16 앵커 중 짧은 물힘 깊이인 물힘 깊이 64mm인 경우에도 기준에서 제시하는 변동계수를 만족하는 것으로 나타났다. 하지만, M12의 결과와 유사하게 물힘 깊이가 짧아지면 최대하중의 편차가 크게 나타났다. 고강도 콘크리트 시험결과, 유효 물힘 깊이가 80mm인 경우 표준편차는 5.3로 나타났고, 변동계수는 7.8%로 나타났다. 짧은 물힘 깊이인 물힘 깊이 64mm인 경우에는 변동계수는 만족하는 것으로 나타났다.

5. 타사앵커와의 인장하중 비교

국내 A사 앵커와 해외 B사 앵커의 인장성능을 비교하기 위해 해외 B사의 기술보고서에 수록된 콘크리트 강도 20MPa에서의 극한인장하중을 Table 6에 나타내었다. 해외 B사 앵커와 국내 A사 앵커의 인장하중을 비교하기 위해서는 콘크리트강도와 유효 물힘 깊이가 동일해야 하므로 표준화 과정이 필요하다. ACI 355.2를 참고하여 산정식 표준화 하였고, 그에 관련된 과정을 식 (5)와 (6)에 나타내었다.

$$F_{m,i} = F_{u,test,i} \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{c,test,i}}} \quad (5)$$

여기서, $F_{m,i}$: 정규화를 통해 얻은 극한인장하중
 $F_{u,test,i}$: 시험을 통해 얻은 극한인장하중

$f_{c,m,i}$: 정규화에 사용될 콘크리트 압축강도
 $f_{c,test,i}$: 시험을 통해 얻은 콘크리트 압축강도

$$F_{m,i} = F_{u,test,i} \left(\frac{h_{ef,m,i}}{h_{ef,test,i}}\right)^{1.5} \quad (6)$$

여기서, $h_{ef,m,i}$: 정규화에 사용될 기준 유효물힘깊이
 $h_{ef,test,i}$: 인장하중 시험의 유효물힘깊이

콘크리트강도 28MPa에서 시험을 통해 얻은 극한인장하중을 20MPa로 표준화하여 Table 7에 나타내었고 해외 B사의 기술보고서에 수록된 ultimate resistance를 Table 7의 유효 물힘 깊이와 동일하게 표준화하여 Table 8에 나타내었다.

Table 6 Mean ultimate resistance of anchors manufactured overseas($f_{ck}=20MPa$)

Diameter	M12		M16	
	h_{ef} (mm)	50	65	65
Ultimate tensile load(kN)	23.7	35.1	35.1	48.0

Table 7 Normalized to 20MPa of test value

Diameter	M12		M16	
	h_{ef} (mm)	50	60	64
Ultimate tensile load(kN)	26.54	30.36	45.17	59.90

Table 8 Normalized effective embed depth of technical report

Diameter	M12		M16	
	h_{ef} (mm)	50	60	64
Ultimate tensile load(kN)	23.70	31.13	34.29	48.00

Table 7과 8을 비교한 결과를 Figure 6에 나타내었다. 앵커의 직경이 작고 유효 묻힘 깊이가 얇은 구간에서는 국내 A사의 제품이 해외 B사 제품의 인장하중 보다 비슷하거나 떨어지는 수준을 나타내었다. 하지만, 직경이 크고 유효 묻힘 깊이가 긴 경우에는 해외 B사의 제품보다 국내 A사의 제품의 인장하중이 크게 나타났다. 이러한 결과를 볼 때 콘크리트구조기준해설에서 제시하고 있는 표준 유효 묻힘 깊이 확보가 중요할 것으로 판단된다.

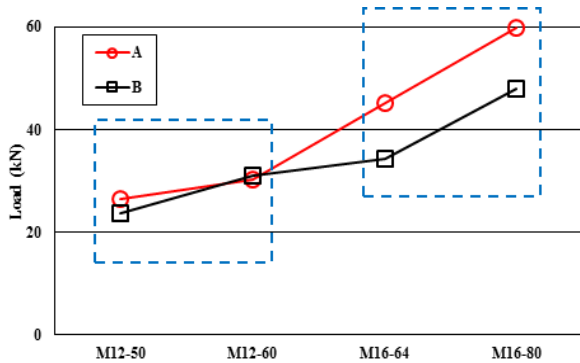


Figure 6 Comparison of tensile performance

6. 결론

본 연구에서는 국내에서 제작된 기계식 앵커를 대상으로 콘크리트의 강도와 앵커의 유효 묻힘 깊이를 변수로 단일 앵커의 인장시험을 수행하였다. 또한, 인장시험결과를 바탕으로 해외 타사 제품과 앵커의 직경 및 유효 묻힘 깊이에 따른 강도를 비교 평가하였다. 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) M12와 M16의 인장강도 시험결과, 파괴 형태는 대부분 콘크리트 파괴가 지배적으로 발생하였다. 또한, 콘크리트구조기준에서 제시하고 있는 유효 묻힘 깊이를 적용한 결과, M12는 변동계수가 12.6%로 나타났고, M16은 변동계수가 11.6%로 나타나 기준에서 제시하고 있는 변동계수 제한치를 모두 만족하는 것으로 나타났다.
- (2) 짧은 묻힘깊이를 검토하기 위한 시험 결과, M12 및 M16 앵커 모두 건축구조기준에서 제시하고 있는 변동계수 제한치를 만족하는 것으로 나타났다. 하지만, 유효 묻힘 깊이가 짧아져 각각의 시험체들의 최대 하중 편차가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 일반 강도 콘크리트와 고강도 콘크리트 모두 유사한 결과를 나타내었다. 이러한 결과로 볼 때 유효 묻힘

깊이의 확보가 인장강도의 변동계수에 미치는 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

- (3) 인장시험 결과를 해외 타사 제품과 비교분석한 결과, 앵커의 직경이 작고 유효 묻힘 깊이가 얇은 구간에서는 해외 B사의 인장하중보다 비슷하거나 떨어지는 수준을 나타내었지만, 직경이 크고 유효 묻힘 깊이가 긴 경우에는 해외 B사의 제품보다 국내 제품의 인장하중이 크게 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 적절한 유효 묻힘 깊이 확보가 중요한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 한국연구재단 이공분야기초연구사업(NRF-2018R1D1A1B07048570)과 대학중점연구소지원사업(NRF-2018R1A6A1A07025819)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

1. Hur, M. W., Chun, Y. S., Lee, S. H., Hwang, J. S., Mitigating Seismic Response of the RC Framed Apartment Building Structures Using Stair-Installation Kagome Damping System, Journal of Korea institute for Structural Maintenance Inspection, 22(5), 23-30, 2018.
2. Oh, S. H., Choi, K. Y., Ryu, H. S., Kim, Y. J., An Experiment Study on Verification for the Performance of Seismic Retrofit System Using of Dual Frame With Different Eigenperiod, Journal of Korea institute for Structural Maintenance Inspection, 22(5), 91-100, 2018.
3. Kim, Y. J., Park, J. H., Hwang, J. H., Ahn, T. S., Mitigating Seismic Response of the RC Framed Apartment Building Structures Using Exterior-Installation Kagome Damping System, Proceedings of Architectural Institute of Korea, 37(1), 733-734, 2017.
4. Roh, J. E., Lee, S. H., Experimental Evaluation of a Multi-action Hybrid Damper under Cyclic Loading, Journal of the Architectural Institute of Korea Structures & Construction, 32(11), 3-9, 2016.
5. Hur, M. W., Chun, Y. S., Lee, S. H., Inelastic Seismic Response Control of the RC Framed Apartment Building Structures Using Exterior-Installed Kagome Damping System, Journal of Korea institute for Structural Maintenance Inspection, 20(3), 58-65, 2016.
6. KCI, 2018, Anchor design method and sample for concrete.

7. HILTI, Hilti Technical report, 2016.
8. ACI Committee 355.2, Evaluating the Performance of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete, 2011.
9. ACI Committee 318, Building Code Requirements For Structural Concrete and Commentary, 2011.
10. ETAG, Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete, 1997.
11. Korean Building and Commentary, Architectural Institute of Korea, 2016.
12. Kim, S. Y., Kim, K. S., Evaluation of Concrete Cone Breakout Strength of Expansion Anchors, Journal of Korean Society of Steel Construction, 15(6), 2003, 649-660, 2003.
13. Yun, H. D., Park, W. S., Han, B. C., Hwang, S. K. Strength Properties of Single Post-Installed Anchors, Journal of the Architectural Institute of Korea, 20(5), 11-18, 2004.
14. Hwang, Y. S., A Study on the Fracture Resistance Characteristics of Post-Installed Anchor, Master of Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea, 2011.
15. Kim, H. S., Performance of Post-Installed Anchors under Combined Loads in Concrete, Master of Engineering, Incheon National University, Korea, 2015.

접수 2019. 6. 17
1차 심사완료 2019. 7. 3
계재확정 2019. 7. 8