



부착식 앵커의 인발강도에 관한 연구

서성연^{1*}

¹교수, 한라대학교, 건축학과

A Study on the Pull-out Strength of Bond Type Anchors

Seo, Seong Yeon^{1*}

¹Professor, Dept. of Architecture, Halla University, wonju, 26404, Korea

Abstract - The use of post installed anchors with bond type has lately been increasing when it is necessary to repair, reinforce, or remodel structures. This method provides flexibility and simplicity for construction of structural members that require adhering or fixing. Meanwhile, strength evaluation of anchors with expansion type among post-installed anchors systems has nearly reached setting up stage like design code through continual experimental studies for the last ten years, but analyses or experimental studies on anchor system with bond type are not yet sufficient. Accordingly, the designers and builders of Korea depend on foreign design codes since there are no exact domestic design code they could credit. In this study, the objectives are investigating the effects on pull-out strength of resin anchors embedded into plain concrete by pull-out experiment of resin anchors with variables such as anchor diameter, anchor interval, embedment depth and edge distance.

Keywords - Rod anchors, Re-bar anchors, Capsule anchors, Anchor diameter, Anchor interval, Embedment depth, Edge distance, Pull-out experiment, Pull-out strength

1. 서론

최근 건축물의 보수·보강 및 리모델링시 중량물 및 구조 부재를 부착시키거나 고정하는 데 있어서 시공의 유연성 및 용이성으로 후설치 부착식 주입형 앵커의 사용량이 점점 증가하고 있는 실정이다^{[1],[2],[3],[4],[5]}. 외국에서는 1980년대 초부터 후설치 부착식 앵커에 대한 다양한 해석 및 실험을 통한 설계식을 제시하여 실제 설계에 사용하고 있으나 현재 우리나라에서는 설계자와 시공자가 신뢰할 수 있는 명확한 설계 기준이 없는 상태에서 외국의 설계기준에 의존하고 있는 실정이다^{[6],[7],[8],[9]}. 후설치 부착식 앵커의 인발강도는 풀아웃 실험(pull-out experiment)적인 평가방법과 부재실험에

다른 간접적인 평가방법이 있으며 풀아웃실험에 의한 인발 강도는 중국인발강도를 기준으로 한다. 또한 CCD(Concrete Capacity Design) 설계기준에서 단일앵커의 인발강도는 풀아웃실험결과를 회귀분석하여 평가하고 있으며 일반적으로 부착식 앵커의 내력평가는 CCD 설계기준이 널리 사용되고 있다^{[10],[11],[12]}. 현재 미국에 있어서 앵커의 설계법은 ACI 349 위원회와 ACI 355 위원회의 지원을 받아 ACI 318 위원회가 중심이 되어 주도적으로 개발하고 있으며 ACI 318 부록 D에 규정되어 있다. 그러나 1990년대 후반까지만 해도 ACI 318 과 AISC LRFD 및 ASD 기준에는 콘크리트용 앵커에 대한 특별한 규정이 없었다. ACI 349-85의 부록 B와 PCI 설계핸드북 5판에서 선설치 앵커에 대한 기본적인 설계정보를 제공하였으며, 후설치 앵커에 대한 설계는 기본적으로 개별 앵커 제조사에서 제공하는 정보에 의거하여 수행되어 왔다. ACI 349-85 부록 B와 PCI 설계 핸드북 5판에서 기술되어 있는 45° 원추방법은 1970년대 중반에 개발되었다. 1980년대 들어서는 묻힘깊이, 연단거리 및 앵커그룹의 영향을 변수로 하는 다양한 형태의 앵커가 비균열 콘크리트와 균열 콘크리트에 정착되었을 때 이들의 성능에 대한 실험이 독일 슈투

Note.-Discussion open until October 31, 2018. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on January 17, 2018; revised March 22, 2018; approved on March 29, 2018.

Copyright © 2018 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-33-760-1275 Fax. +82-33-760-1271

E-mail. syseo@halla.ac.kr

트가르트대학에서 집중적으로 수행되었다. 1980년대 후반 ACI 349와 ACI 355에 도입된 카파방법도 슈투트가르트대학의 실험결과로부터 개발된 것이다. 1990년대 초반에는 이 카파방법이 좀 더 개선되어 텍사스 오스틴대학에서 좀 더 사용자 편의 위주로 만들어졌고 이러한 노력들이 CCD방법으로 이어졌으며 같은 기간 동안에 실험결과에 대한 국제적인 데이터 베이스도 구축되었다. 1990년대 중반 동안 ACI 349와 ACI 355 위원회의 주요한 활동은 CCD 방법과 34° 원추 방법을 데이터 베이스하여 평가하는 것이었다. 이러한 평가 결과 ACI 318, 349 및 355는 CCD방법을 적용하는 쪽으로 진행하였고 ACI 318-08 부록 D와 ACI 349-01 부록 B의 설계규정은 CCD방법에 기초하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기존 연구를 중심으로 비균열 무근콘크리트에 매입된 여러타입의 후시공 앵커를 대상으로 앵커간격, 묻힘깊이 그리고 연단거리를 변수로 한 인발실험을 통하여 부착식 케미컬앵커의 인발강도에 미치는 제요소를 평가하고자한다.

2. 앵커설계기준

식 (1)은 앵커간격 및 연단거리에 따른 영향계수를 고려한 단일 및 그룹앵커의 공칭인발강도(N_n)로서, CCD설계기준에서는 앵커간격에 따른 수평투영면적비(A_N/A_{No})와 연단거리에 따른 수정계수(Ψ_2)를 고려하여 평가한다.

$$N_n = \frac{A_N}{A_{No}} \Psi_2 N_{no} \quad (1)$$

식 (1)에서 인장을 받는 단일 및 그룹앵커의 연단거리에 따른 영향계수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Psi_2 &= 1.0, \quad (c_1 \geq 1.5h_{ef}) \\ &= 0.7 + 0.3 \times c_1 / 1.5h_{ef}, \quad (c_1 < 1.5h_{ef}) \end{aligned}$$

여기서, N_n : 앵커간격 및 연단거리에 따른 영향계수를 고려한 인발강도

A_{No} : 단일앵커의 수평투영면적(mm²)

A_N : 앵커간격에 따른 수평투영면적(mm²)

Ψ_2 : 연단거리를 고려한 영향계수

c_1 : 연단거리

h_{ef} : 앵커의 묻힘깊이

식 (2)는 앵커의 묻힘깊이가 충분하고 콘크리트 콘파괴 및 슬립파괴를 배제한 ACI Committee 318에서 제시한 인장을 받는 단일 및 그룹앵커의 공칭인발강도(N_s)이며, 식 (3)은 앵커직경(d), 콘크리트강도(f_{ck}), 묻힘깊이(h_{ef}) 및 연단거리(c_1)의 영향을 고려한 부착식 단일앵커의 인발강도(N_{no})이다.

$$N_s = n A_{sc} f_{ut} \quad (N) \quad (2)$$

여기서, A_{sc} = 단일앵커의 유효단면적(mm²)

f_u = 앵커의 인장강도(N/mm²)

n = 그룹의 앵커수

$$N_{no} = \pi d h_{ef} \tau \quad (N) \quad (3)$$

여기서, N_{no} = 단일앵커의 인발강도

d = 앵커 직경(mm)

h_{ef} = 앵커의 묻힘깊이(mm)

τ = 부착응력(N/mm²)

그리고 부착식 주입형 앵커의 인발강도는 드릴구멍의 조건, 앵커의 제조과정상의 오차 및 앵커가 매입되는 콘크리트의 성질 등에 따라 변한다. 따라서 앵커의 인발강도를 결정하기 위해서는 충분한 수의 강도시험을 거쳐야 하며 시험을 통하여 얻은 값을 통계 처리하여 그 변화의 폭을 평가하여야 한다. ACI Committee 355에서는 후설치 앵커의 콘크리트 파괴나 부착파괴가 일어난 실험값의 평균파괴강도(F_m)와 변동계수(v)를 이용하여 5% 분위수($F_{5\%}$, characteristic capacity, 특성치)에 의한 인발강도를 식 (4)와 같이 제시하고 있다^{[13],[14],[15],[16]}.

$$F_{5\%} = F_m (1 - Kv) \quad (N) \quad (4)$$

여기서, F_m = 평균 파괴강도(N)

v = 변동계수

K = 정규분포상에서 90%의 신뢰수준을 가지며 편측 결여분은 5%가 넘지 않는 편측허용한계에 관한 계수.

3. 시험체 및 실험방법

3.1 시험체 제원

Table 1은 콘크리트 배합비로서, 콘크리트 타설과 동시에 압축강도용 표준 원통형 공시체 17개의 몰드를 제작했으며, 48시간 후 거푸집을 제거하고 콘크리트 블록과 공시체를 부

Table 1. Mix proportion of concrete

Design strength (N/mm ²)	Water-cement ratio (%)	Fine aggregate ratio (%)	Unit material quantity (kN/m ³)			
			Cement	Fine aggreg.	Coarse aggreg.	Water
21	48	47	3.1	8.5	9.5	1.5

Table 2. Setting type of re-bar anchor (mm)

	D10	D13	D16	D19	D25
Drill diameter	12	16	20	25	30
Hole depth	93	115	130	175	215
Inserting depth	90	110	125	170	210
Base depth	120	140	170	220	270

Table 3. Setting type of rod-anchor(mm)

	M10	M12	M16	M20	M24
Drill diameter	12	16	20	25	30
Hole depth	93	115	130	175	215
Bond device diameter	20	30	40	50	60
Anchor inserting depth	90	110	125	170	210
Base depth	120	140	170	220	270
Bolt length	130	160	190	240	290

Table 4. Material properties of capsule anchors

Material	Ratio (%)	Material	Ratio (%)	Material	Ratio (%)
Aseton	90	Benjen	85	Jilsan	30
Ammonia	20	Diejel	87	Gasolin	95
Anilin	80	Metanol	92	Yemsan	20

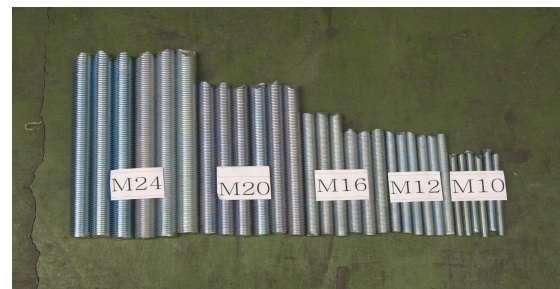
Table 5. Hardening time of capsule anchors

Temperature	Setting time	Hardening time
-5 (°C)	240 (min.)	360 (min.)
0	180	300
5	60	90
20	30	50
30	20	40
40	10	30

직포로 덮은후 실내(20±3°C)에서 시료가 항상 습윤상태를 유지하도록 살수양생을 28일간 실시하였다. 실험용 콘크리트블록은 ASTM E488-96(1996)에서 제시하는 최소 클리어런스 및 실험체의 두께를 확보하기 위해 앵커의 삽입깊이, 연단거리 그리고 앵커균 간격에 대한 변수를 계산하여 비균열 무근콘크리트의 단면을 1,600×1,600×300mm인 직육면체의 거푸집을 제작후 레미콘을 사용하여 콘크리트를 타설하였다. Tables 2와 3은 앵커 직경별 설치제원이며, Tables 4와 5는 캡슐앵커의 내약품 성능 및 경화시간이다. 그리고 Fig 1은 본 실험에 사용한 로드앵커, 철근앵커 그리고 캡슐 앵커 전경이다^{[17],[18],[19]}.

3.2 인발실험계획

Fig. 2는 인발하중 작용시 콘크리트에 매입된 부착식 앵커의 파괴모드로서, 일반적으로 앵커의 내력은 콘크리트 콘



(a) Rod anchor



(b) Re-bar anchor



(c) Capsule anchor

Fig. 1. Type of anchors

파괴, 콘크리트 쪼개짐 그리고 앵커의 뽑힘파괴중 하나에 의해서 결정된다. Table 6은 케미컬 앵커의 앵커간격, 묻힘깊이 그리고 연단거리에 따른 실험계획으로, 로드앵커(M10, M12, M16, M20, M24), 철근앵커(D10, D13, D16, D19, D25), 그리고 캡슐앵커를 대상으로 인발실험을 계획하였다. Table 6에서 로드앵커는 앵커간격으로 M10은 90~210mm, M12는

90~210mm, M16은 120~280mm, M20은 160~420mm, M24는 240~320mm까지 각각 계획하였으며, 철근앵커는 묻힘깊이로서 D10은 50~110mm, D13은 50~110mm, D16은 50~170mm, D19는 50~200mm, D25는 50~230mm로 각각 계획하였다. 그리고 캡슐앵커는 연단거리로서 M10은 45~90mm, M12는 55~110mm, M16은 65~125mm, M20은 90~170mm, M24는 110mm까지 각각 계획하였다^[20].

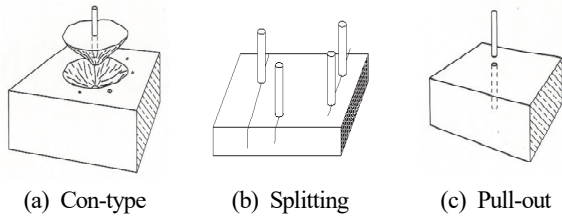


Fig. 2. Concrete failure mode

3.3 가력 및 측정방법

실험은 ASTM E 488-96에 의하여 수행하였으며^{[4],[5]}, 가력방법은 로드셀(500kN)을 설치 후 하중은 유압장비(600kN)를 이용하여 하중제어 방법으로 증가시키며 주기적으로 재하하도록 계획하였다. 실험장비는 다양한 구성요소(인장,

Table 6. Test plans of anchors

Basic anchor		Rod anchor			Re-bar anchor		Capsule anchor		
SC	ID	SC	AI	ID	SC	ID	SC	ED	ID
BTM10-90	90	RLTM10-90	90	90	RTD10-50	50	CTM10E-45	45	90
BTM12-90	90	RTM10-120	120		RTD10-80	80	CTM10E-55	55	
BTM12-105	105	RTM10-160	160		RTD10-110	110	CTM10E-65	65	
BTM12-110	110	RTM10-180	180		RTD13-50	50	CTM10E-80	80	
BTM12-130	130	RTM10-210	210		RTD13-80	80	CTM10E-90	90	
BTM16-125	125	RTM12-90	90	110	RTD13-110	110	CTM12E-55	55	110
BTM16-145	145	RTM12-120	120		RTD16-50	50	CTM12E-65	65	
BTM16-165	165	RTM12-160	160		RTD16-80	80	CTM12E-80	80	
BTM20-190	190	RTM12-180	180		RTD16-110	110	CTM12E-90	90	
BTM20-210	210	RTM12-210	210		RTD16-140	140	CTM12E-110	110	
BTM24-210	210	RTM16-120	120	125	RTD16-170	170	CTM16E-65	65	125
BTM24-235	235	RTM16-160	160		RTD19-50	50	CTM16E-80	80	
BTM24-255	255	RTM16-180	180		RTD19-80	80	CTM16E-90	90	
		RTM16-210	210		RTD19-110	110	CTM16E-110	110	
		RTM16-280	280		RTD19-140	140	CTM16E-125	125	
		RTM20-160	160	170	RTD19-170	170	CTM20E-90	90	170
		RTM20-180	180		RTD19-200	200	CTM20E-110	110	
		RTM20-210	210		RTD25-50	50	CTM20E-125	125	
		RTM20-240	240		RTD25-80	80	CTM20E-140	140	
		RTM20-280	280		RTD25-110	110	CTM20E-170	170	
		RTM20-320	320	210	RTD25-140	140	CTM24E-110	110	210
		RTM20-420	420		RTD25-170	170	CTM24E-125	125	
		RTM24-240	240		RTD25-200	200	CTM24E-140	140	
		RTM24-320	320		RTD25-230	230	CTM24E-210	210	

Note: SC(Specimen), ID(Insert Depth, mm), ED(Edge Distance, mm), AI(Anchor Interval, mm)

압축, 전단, 비틀림)의 항복에 대해서 충분한 내력을 갖게 제작하였으며 앵커의 축과 평행하게 인발하중을 작용시켰다. 앵커간격에 따른 인발내력을 평가함에 있어, CCD설계기준에 준하여 앵커간격에 따라 2개의 앵커가 동시에 인발하중을 받을수 있도록 실험체 셋팅후 가력하였다. Fig. 3은 부착식 주입형 케미컬 앵커의 실험체 제작과정이며, Fig. 4는 인

발강도 측정을 위한 실험체 Set-up 및 인발실험 전경이다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 재료시험결과

Tables 7~8은 콘크리트 및 앵커의 재료시험 결과이다. 콘크리트 설계기준강도 21N/mm^2 를 기준으로 배합설계한 17개 콘크리트 공시체의 평균압축강도는 26N/mm^2 , 표준편

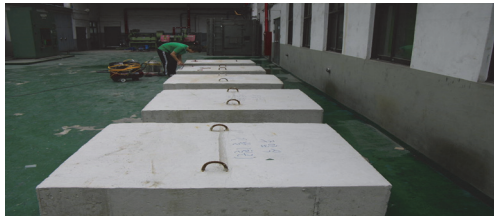
Table 7. Compressive test results of concrete

Compressive strength	Standard deviation	Variable coefficient	Slump
26N/mm^2	2.53	9.7%	80mm

Table 8. Tensile test results of anchor

Anchor type	Re-bar anchor	Rod anchor
Yield strength ($f_y, \text{N/mm}^2$)	435	275
Tensile strength ($f_u, \text{N/mm}^2$)	565	435
Yield ratio (f_y/f_u)	0.77	0.63
Elongation (%)	18	20

Note: Re-bar anchor (SD400), Rod anchor (SC200)



(a) Concrete block

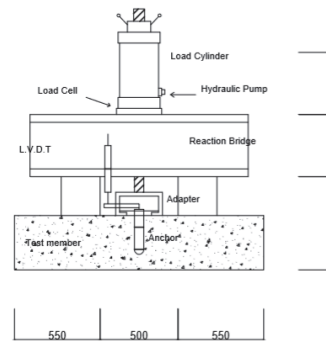


(b) Anchor inserting

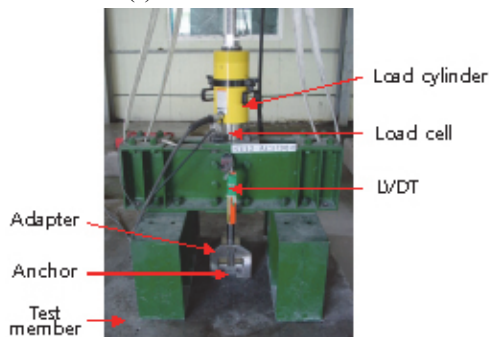
Fig. 3. Manufacturing process of test specimen



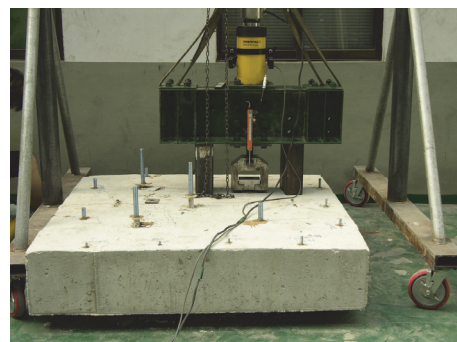
(a) Anchor measurement



(b) Test setup detail



(c) Anchor test setting



(d) Test figure

Fig. 4. Pull-out test setup

차 2.53 그리고 변동계수는 9.7%로 나타나 콘크리트 품질관리는 비교적 양호하였으며 평균배합강도 24N/mm²를 상회하여 설계기준의 규정을 만족하였다. KS B 0802에 준한 12개의 직경별 로드앵커(S20C, 아연도금)의 인장시험결과 평균항복강도 275N/mm², 평균인장강도 435N/mm², 평균항복비는 0.63로 각각 나타났으며, 15개의 직경별 철근앵커의 인장시험결과 평균항복강도 435N/mm², 평균인장강도 565N/mm², 평균항복비는 0.77로 각각 나타났다^[21].

4.2 인발실험결과

케미컬앵커의 인발강도는 콘크리트 콘파괴 및 쪼개짐 그리고 앵커의 뽀뽀파괴 중 하나로서, 앵커간격, 연단거리 그리고 뽀뽀깊이에 의하여 결정된다. Table 9는 레진을 이용한 비균

열 무근콘크리트에 매입된 부착식 주입형 로드앵커, 철근앵커 그리고 캡슐앵커의 앵커간격, 뽀뽀깊이 그리고 연단거리를 변수로 한 인발실험결과이다. Fig. 5는 기본형 시험체의 인발강

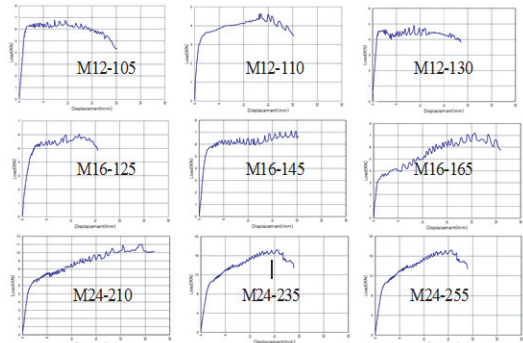


Fig. 5. Load-displacement curves of basic anchors

Table 9. Test results of anchors

Basic anchor			Rod anchor			Re-bar anchor			Capsule anchor		
SC	ML	DP	SC	ML	DP	SC	ML	DP	SC	ML	DP
BTM10-90	32	9	RTM10-90	53	9	RTD10-50	12	5	CTM10E-45	79	16
BTM12-90	34	10	RTM10-120	63	15	RTD10-80	16	8	CTM10E-55	61	12
BTM12-105	39	13	RTM10-160	66	12	RTD10-110	39	13	CTM10E-65	48	14
BTM12-110	52	12	RTM10-180	75	13	RTD13-50	14	7	CTM10E-80	50	12
BTM12-130	71	17	RTM10-210	86	14	RTD13-80	20	9	CTM10E-90	61	15
BTM16-125	59	16	RTM12-90	84	7	RTD13-110	40	12	CTM12E-55	73	13
BTM16-145	60	13	RTM12-120	103	16	RTD16-50	23	10	CTM12E-65	73	13
BTM16-165	61	16	RTM12-160	109	16	RTD16-80	33	12	CTM12E-80	70	18
BTM20-190	119	20	RTM12-180	117	18	RTD16-110	39	14	CTM12E-90	78	16
BTM20-210	120	14	RTM12-210	126	16	RTD16-140	75	15	CTM12E-110	85	16
BTM24-210	182	20	RTM16-120	95	19	RTD16-170	110	18	CTM16E-65	78	11
BTM24-235	223	18	RTM16-160	99	16	RTD19-50	16	13	CTM16E-80	54	17
BTM24-255	231	28	RTM16-180	112	11	RTD19-80	23	10	CTM16E-90	89	13
			RTM16-210	125	11	RTD19-110	41	11	CTM16E-110	98	17
			RTM16-280	132	10	RTD19-140	60	19	CTM16E-125	95	16
			RTM20-160	136	21	RTD19-170	69	16	CTM20E-90	164	15
			RTM20-180	145	14	RTD19-200	93	23	CTM20E-110	155	18
			RTM20-210	163	11	RTD25-50	20	7	CTM20E-125	136	17
			RTM20-240	170	19	RTD25-80	36	9	CTM20E-140	181	17
			RTM20-280	174	17	RTD25-110	62	11	CTM20E-170	160	17
			RTM20-320	177	17	RTD25-140	67	15	CTM24E-110	165	13
			RTM20-420	181	19	RTD25-170	103	14	CTM24E-125	156	15
			RTM24-240	249	18	RTD25-200	123	16	CTM24E-140	194	14
			RTM24-320	286	19	RTD25-230	129	17	CTM24E-210	220	15

Note: SC (Specimen), ML (Maximum Load, kN), DP (Displacement, mm)

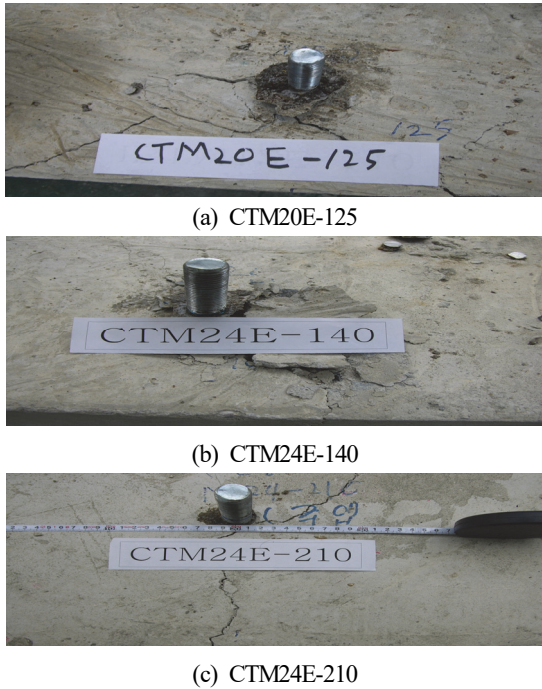


Fig. 6. Concrete failure mode of capsule anchor

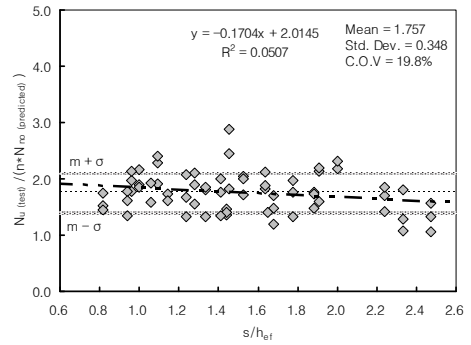
도에 대한 하중-변위 관계곡선으로, M12시험체의 초기강성은 비교적 양호하게 나타났으며 M16시험체는 항복이후 완전한 소성흐름을 보이다가 최대내력 이후 파단하였다. 그리고 M24시험체는 항복 후 비탄성변형을 보이다가 최대내력에 이르기까지 완전한 내력상승을 보인 후 취성파단하였다. Fig. 6은 캡슐앵커의 인발실험 시 최대내력이후의 콘크리트 파괴형상으로, 콘크리트 콘파괴 및 쪼개짐 파괴형상으로 나타났다.

4.2.1 앵커간격에 따른 로드앵커의 인발강도

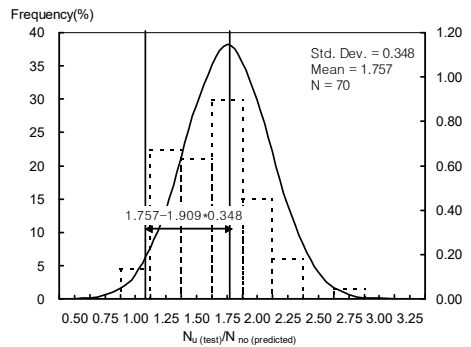
그룹앵커에서 일반적으로 앵커의 인발강도는 인접한 앵커의 콘파괴에 의한 영향으로 앵커간격이 작아짐에 따라 앵커의 인발강도는 감소한다. 앵커간격에 따른 인발강도는 CCD설계기준과 동일하게 단일앵커의 내력에 수평투영면적의 비를 곱함으로써 식 (5)와 같이 구할 수 있다. 식 (5)는 앵커간격 및 연단거리에 따른 영향계수를 고려한 부착식 수지앵커의 공칭인발강도로서, CCD설계기준에서는 앵커간격에 따른 수평투영면적비와 연단거리에 따른 영향계수를 고려하여 평가한다.

$$N_n = \frac{A_N}{A_{No}} \Psi_2 N_{no} \quad (N) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Psi_2 &= 1.0, \quad (c_1 \geq 1.5h_{ef}) \\ &= 0.7 + 0.3 \times c_1 / 1.5h_{ef}, \quad (c_1 < 1.5h_{ef}) \end{aligned}$$

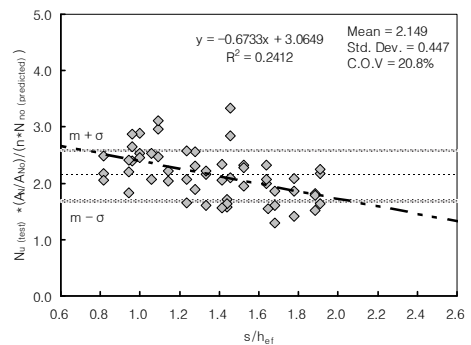


(a) Pull-out strength with anchor interval

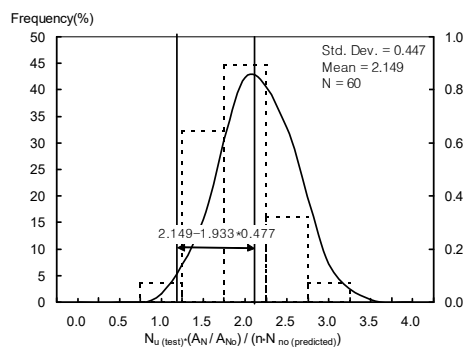


(b) Normal distribution curve with anchor interval

Fig. 7. Anchor interval of rod anchors



(a) Pull-out strength with anchor interval



(b) Normal distribution curve with anchor interval

Fig. 8. Coefficient factors on anchor interval

여기서, A_{No} 는 단일앵커의 수평투영면적(mm^2), A_N 는 앵커 간격에 따른 수평투영면적(mm^2)이다.

Table 9에서 로드앵커의 실험결과, 앵커간격에 비례하여 약 1.3~1.6까지 인발강도가 증가하였다. Fig. 7은 로드앵커의 앵커간격에 따른 영향계수인 수평투영면적비를 평가하기 위하여 실험값을 기본형 실험체 인발강도의 비로 나타낸 것으로 앵커간격비 2.0 이하에서 약간의 편차는 있으나 거의 일정하게 나타났으며, 앵커간격에 따른 영향계수를 적용한 5% 분위수의 값은 1.09로 나타났다. 이는 앵커의 파괴가 대부분 부착파괴에 기인한 것으로 판단된다. Fig. 8은 수평투영면적비의 영향을 고려한 것으로 앵커간격에 따른 영향계수인 수평투영면적비를 적용한 5% 분위수의 값은 1.23으로 나타나 앵커간격에 따른 영향계수인 수평투영면적비는 합리적이고 안전측임을 알 수 있다.

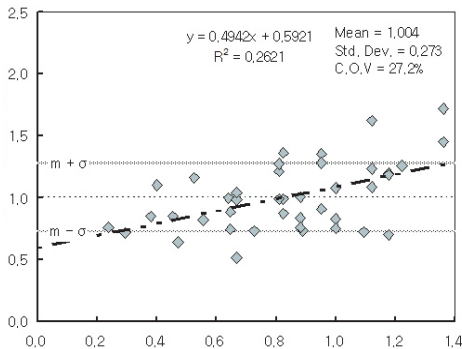
4.2.2 문힘깊이에 따른 철근앵커의 인발강도

Table 9에서 철근앵커의 문힘깊이에 따른 인발실험결과, 앵커의 문힘깊이가 표준문힘깊이 이하인 경우 실험체의 인발강도는 문힘깊이에 비례하여 낮게 나타났다. 또한 표준문힘깊이 이하에서 철근앵커의 인발강도에 대한 타당성을 검

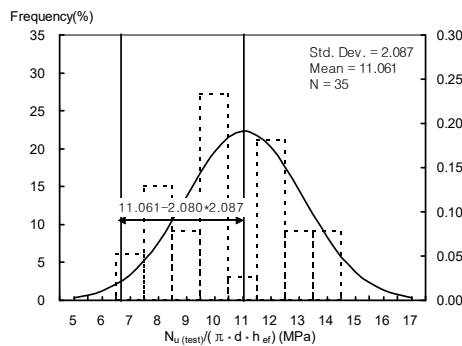
토하기 위하여 앵커직경별로 문힘깊이에 따른 실험값을 앵커직경별 기본형 시험체의 평균값과 비교 검토한 결과, 문힘깊이에 비례하여 인발강도는 다소 크게 나타났다. Fig. 9는 문힘깊이에 따른 실험값을 기본형 시험체 평균값의 비로 나타낸 것으로 철근앵커의 인발강도는 앵커의 실제 문힘깊이가 표준문힘깊이 이하인 경우 평균값 이하로 떨어지는 것을 알 수 있으며, 실제 문힘깊이가 작으면 작을수록 인발강도는 낮게 나타났다. 실험결과를 정량적으로 평가하기 위해 선형 회귀분석한 결과 실제 문힘깊이가 표준문힘깊이의 0.1배 작아질수록 철근앵커의 인발강도는 4.9% 낮게 나타났다. 따라서 철근앵커 시공 시 표준문힘깊이 이하의 철근앵커의 내력을 정량적으로 평가하여 적용하여야 할 것으로 사료된다.

4.2.3 연단거리에 따른 캡슐앵커의 인발강도

Table 9에서 연단거리에 따른 캡슐앵커의 인발실험결과, 캡슐앵커의 연단거리에 따른 실험값에 대한 기준식의 공칭강도 비는 약 1.03~1.16까지 크게 나타났다. Fig. 10은 연단거리를 고려한 수정계수를 평가하기 위해 실험값을 식 (6)의 기준식에 의한 단일앵커의 인발강도 및 연단거리에 따른 5% 분위수를 적용한 정규분포곡선이다. Fig. 10에서 연단거리가

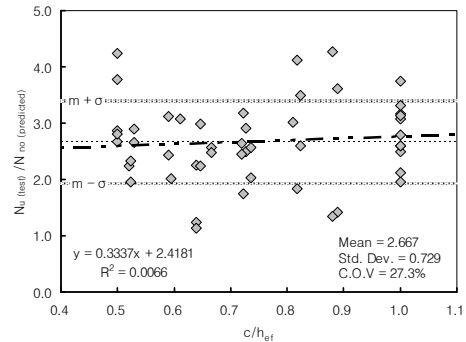


(a) Pull-out strength with embedment depth

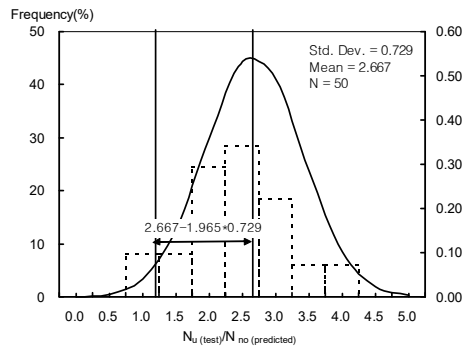


(b) Normal distribution curve with embedment depth

Fig. 9. Embedment depth of re-bar anchors

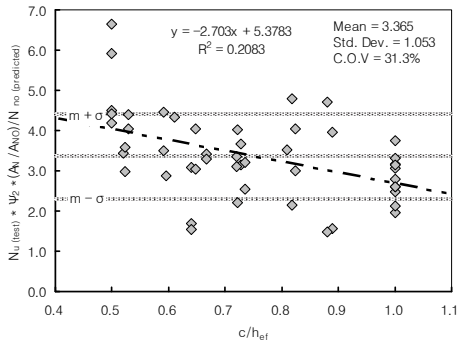


(a) Pull-out strength with edge distance

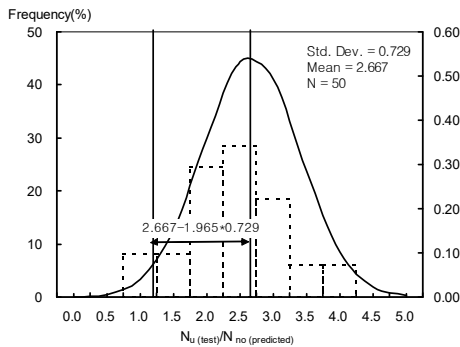


(b) Normal distribution curve with edge distance

Fig. 10. Edge distance of capsule anchors



(a) Pull-out strength with edge distance



(b) Normal distribution curve with edge distance

Fig. 11. Coefficient factors on edge distance

작을수록 인발강도가 약간 저하되는 것으로 나타나 CCD설계 기준에서 제안하고 있는 연단계수가 필요함을 알 수 있다. Fig. 11은 연단거리에 따른 수정계수인 수평투영면적비와 연단계수를 고려한 앵커의 내력비 및 연단거리에 따른 5% 분위수를 적용한 정규분포곡선이다. Fig. 11에서 연단거리 따른 수정계수인 수평투영면적비를 적용한 후 5% 분위수를 적용한 값은 1.12로 나타나 연단거리에 따른 수정계수인 수평투영면적비와 연단계수는 합리적이고 안전측임을 알 수 있다.

$$N_{no} = \pi d h_{ef} \tau (N) \tag{6}$$

여기서, τ 는 부착응력(N/mm²)이다.

5. 결론

레진을 이용한 비균열 무근콘크리트에 매입된 부착식 주입형 로드앵커, 철근앵커 그리고 캡슐앵커의 인발강도를 평가하기 위하여 앵커간격, 묻힘깊이가 그리고 연단거리를 변수로 한 인발실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 로드앵커의 앵커간격에 따른 영향계수인 수평투영면적비를 평가하기 위하여 실험값을 기본형 시험체의 공칭인발강도비로 무차원화하여 분석한 결과, 앵커간격비 2.0 이하에서 약간의 편차는 있으나 실험값에 대한 공칭인발강도비는 일정하게 나타났다.
- (2) 로드앵커의 앵커간격에 따른 실험값에 기본형 시험체의 영향계수를 적용한 5% 분위수의 값은 1.09로 나타나 앵커의 파괴가 대부분 부착파괴에 기인한 것으로 판단되며, 수평투영면적비의 영향을 고려한 앵커간격에 따른 5% 분위수의 값은 1.23으로 나타나 앵커간격에 따른 영향계수인 수평투영면적비는 합리적이고 안전측임을 알 수 있다.
- (3) 철근앵커의 묻힘깊이에 따른 인발강도 비교 시, 철근앵커의 실제 묻힘깊이가 표준묻힘깊이 이하인 경우 평균값 이하로 떨어지는 것을 알 수 있으며, 실제 묻힘깊이가 작으면 작을수록 인발강도는 낮게 나타났다. 또한 실험결과를 정량적으로 평가하기 위해 선형회귀 분석한 결과, 실제 묻힘깊이가 표준묻힘깊이의 0.1배 작아질수록 철근앵커의 인발강도는 약 4.9% 낮게 나타났다.
- (4) 시험체의 공칭강도 비는 연단거리가 작을수록 약간 저하되는 것으로 나타나 CCD설계기준에서 제안하고 있는 연단계수효과가 필요함을 알 수 있다. 그리고 연단거리에 따른 수정계수인 수평투영면적비와 연단계수를 고려한 5% 분위수의 값은 1.12로 나타나 수평투영면적비와 연단계수효과는 합리적이고 안전측임을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한라대학교 2018년도 학술연구조성비의 지원을 받아 수행된 연구이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌(References)

- [1] American Concrete Institute (2000) *Evaluating the Performance of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete* (ACI 355.2-00), USA.
- [2] American Concrete Institute (2008) *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-08) and Commentary*, USA.
- [3] American Concrete Institute (2007) *Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete & Commentary* (ACI 355.2-07), USA.

- [4] American Society for Testing and Materials (1996) *Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements* (ASTM E488-96), USA.
- [5] American Society for Testing and Materials (1999) *Standard Specification for Anchor Bolts, Steel, 36, 55, and 105-ksi Yield Strength* (ASTM F1554-99), USA.
- [6] American Concrete Institute (2002) *Evaluation of Strength Test Results of Concrete* (ACI 214R-02), USA.
- [7] American Concrete Institute (2001) *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (ACI 318R-02)*, USA.
- [8] American Concrete Institute (1990) *Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures* (ACI 349-90), USA.
- [9] American Concrete Institute (2001) *Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures* (ACI 349-01), Appendix B: Anchoring to Concrete, USA.
- [10] European Organisation for Technical Approvals (2001) *Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete* (ETAG 001), Annex C: Design Methods for Anchorages, Belgium.
- [11] 한국콘크리트학회(2012) 콘크리트구조기준 해설, 부록 II: 콘크리트용 앵커, 기문당.
Korean Concrete Institute (2012) *Concrete Structure Design Code and Commentary*, Appendix II: Anchoring to Concrete, Kimoondang, Korea (in Korean).
- [12] Malik, J.B. (1980) *Shear Resistance of Anchor Bolts Under Monotonic and Reversed Cyclic Loading*, Master's Thesis, University of Texas at Austin, USA.
- [13] 박용명, 강문기, 노진경, 주호중, 강충현(2014) 선설치앵커의 동적 전단하중에 대한 저항강도: 철근보강 앵커, 한국강구조학회논문집, 제26권, 제1호, pp.21-30.
Park, Y.M., Kang, M.K., Roh, J.K., Ju, H.J., and Kang, C.H. (2014) Shear Resistance of CIP Anchors Under Dynamic Loading: Reinforced Anchor, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.1, pp.21-30 (in Korean).
- [14] 박용명, 강문기, 김동현, 이종한, 강충현(2014) 선설치앵커의 동적 전단하중에 대한 저항강도: 비보강 앵커, 한국강구조학회논문집, 제26권, 제1호, pp.11-20.
Park, Y.M., Kang, M.K., Kim, D.H., Lee, J.H., and Kang, C.H. (2014) Shear Resistance of CIP Anchors Under Dynamic Loading: Unreinforced Anchor, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.1, pp.11-20 (in Korean).
- [15] 박용명, 전명희, 최명국, 김철환, 김인기(2012) 전단력을 받는 선설치 앵커볼트의 콘크리트 파열파괴강도 평가 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제24권, 제2호, pp.207-215.
Park, Y.M., Jeon, M.H., Choi, M.K., Kim, C.H., and Kim, I.G. (2012) A Study on the Concrete Breakout Capacity of CIP Anchor Bolts Under Shear Loading, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.24, No. 2, pp.207-215 (in Korean).
- [16] Eligehausen, R., and Balogh, T. (1995) Behavior of Fasteners Loading in Tension in Cracked Reinforced Concrete, *ACI Structural Journal*, American Concrete Institute, Vol.92, No.3, pp.365-379.
- [17] Frigui, I. (1992) *Tensile Capacity of Single Anchors in Concrete*, Master's Thesis, University of Texas at Austin, USA.
- [18] Rodriguez, M. (1995) *Behavior of Anchors in Uncracked Concrete Under Static and Dynamic Loading*, Master's Thesis, University of Texas at Austin, USA.
- [19] Fuchs, W., Eligehausen, R., and Breen, J.E. (2001) Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, *ACI Structural Journal*, American Concrete Institute, Vol.92, No.1, pp.73-94.
- [20] Gross, J.H., Klingner, R.E., and Graves III, H.L. (2001) Dynamic Behavior of Single and Double Near-Edge Anchors Loaded in Shear, *ACI Structural Journal*, American Concrete Institute, Vol.98, No.5, pp.665-676.
- [21] Hallowell, J.M. (1996) *Tensile and Shear Behavior of Anchors in Uncracked and Cracked Concrete Under Static and Dynamic Loading*, Master's Thesis, University of Texas at Austin, USA.

요 약 : 최근 건축물의 보수, 보강 및 리모델링시 증량물 및 구조부재를 부착시키거나 고정하는데 있어서 시공의 유연성 및 용이성으로 후설치 부착식 케미컬 앵커의 사용량이 점점 증가하고 있는 실정이다. 외국에서는 1980년대 초부터 후설치 부착식 케미컬 앵커에 대한 다양한 해석 및 실험을 통한 설계식을 제시하여 실제 설계에 사용하고 있으나, 현재 우리나라에서는 설계자와 시공자가 신뢰할 수 있는 명확한 설계기준이 없는 상태로서 외국의 설계기준에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 비균열 무근콘크리트에 매입된 후시공 앵커를 대상으로 앵커 간격, 문힘깊이 그리고 연단거리를 변수로 한 인발실험을 통하여 케미컬앵커의 인발강도에 미치는 제요소를 평가하고자한다.

핵심용어 : 로드앵커, 철근앵커, 캡슐앵커, 앵커간격, 문힘깊이, 연단거리, 인발실험, 인발강도
