부착식 주입형 롯데앵커의 부착강도에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Adhesive Strength of Lot Anchors with Adhesive Type

서성연*

Seo, Seong Yeon

Abstract

The use of post-installed anchors with adhesive type has lately been increasing when it is necessary to repair, reinforce, or remodel structures because this constructing method has flexibility and simplicity of construction in adhering or fixing structural members. 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 adhesive type are not sufficient yet. Accordingly, designers and builders of Korea depend on foreign design codes since there are no exact national design code that they could credit. In this study, the objectives are investigating the effects on adhesive strength of anchors embedded into plain concrete by drawing experiments of lot anchors with variables such as anchor diameter, anchor interval, embedment depth, and edge distance and supplying basic data for enactment of national design code.

Key words : Lot anchors, Anchor diameter, Anchor interval, Embedment depth, Edge distance, Drawing experiment, Adhesive strength

요 지

최근 건축물의 보수·보강 및 리모델링시 구조부재를 부착시키거나 고정하는데 있어서 시공의 유연성 및 용이성으로 부착식 후설치 앵커의 사용량이 증가하고 있는 실정이다. 그동안 후설치 앵커중 확장식 앵커시스템에 대한 내력평가는 지난 10년간 실험을 통한 연구가 지속되어 설계기준 제정등 어느정도 정립단계에 있으나 부착식 앵커시스템에 대한 해석 및 실험적 연구는 아직 미비한 실정이다. 따라서 현재 우리나라에서는 설계자와 시공자가 신뢰할 수 있는 명확한 설계기준이 없는 상태로서 외국의 설계기준에 의존하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 부착식 주입형 롯데앵커를 대상으로 앵커직경, 앵커간격, 묻힘깊이 및 연단거리를 변수로 한 인발실험을 통하여 무근콘크리트에 매입된 롯데앵커의 부착강도에 미치는 영향을 규명하고 국내 설계기준 제정을 위한 기초자료를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

핵심용어 : 롯데앵커, 앵커직경, 앵커간격, 묻힘깊이, 연단거리, 인발실험, 부착강도

1. 서 론

최근 건축물의 보수·보강 및 리모델링시 중량물 및 구조부재를 부착시키거나 고정하는데 있어서 시공의 유연성 및 용이성으로 후설치 부착식 주입형 앵커의 사용량이 점점 증가하고 있는 실정이다. 외국에서는 1980년대 초부터 후설치 부착식 앵커에 대한 다양한 해석 및 실험(Fuchs, Eligehausen and Breen, 1995, ACICommittee355, 2007, ACI318-08, 2008)을 통한 설계식을 제시하여 실제 설계에 사용하고 있으나 현재 우리나라에서는 설계자와 시공자가 신뢰할 수 있는 명확한 설계기준이 없는 상태로서 외국의 설계기준에 의존하고 있는 실정이다(콘크리트용 앵커설계법, 한국콘크리트학회, 2010). 따라서 본 연구에서는 국내산 부착식 주입형 롯데앵커

(이하 IBTM이라 함)를 대상으로 앵커직경(anchor diameter), 앵커간격(anchor interval), 묻힘깊이(embedment depth) 및 연단거리(edge distance)를 변수로 한 인발실험(drawing experiment)을 통하여 무근 콘크리트에 매입된 부착식 주입형 롯데앵커의 부착강도(adhesive strength)에 미치는 영향을 규명하고 국내 설계기준 제정을 위한 기초자료를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

2. 앵커설계 및 기본개념

2.1 앵커설계법의 변천

현재 미국에 있어서 앵커의 설계법은 ACI 349 위원회와 ACI 355 위원회의 지원을 받아 ACI 318 위원회가 중심이

*정회원 · 한라대학교 건축학부 교수(E-mail : syseo@halla.ac.kr)

되어 주도적으로 개발하고 있으며 ACI 318 부록 D에 규정되어 있다. 그러나 1990년대 후반까지만 해도 ACI 318과 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 설계핸드북 5판에서 기술되어 있는 45° 원추방법은 1970년대 중반에 개발되었다. 1980년대 들어서는 문힘깊이, 연단거리 및 앵커 그룹의 영향을 변수로 하는 다양한 형태의 앵커가 비균열 콘크리트와 균열 콘크리트에 정착되었을 때 이들의 성능에 대한 실험이 독일 슈투트가르트대학에서 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 CCD(Concrete Capacity Design) 방법으로 이어졌으며 같은 기간 동안에 실험결과에 대한 국제적인 데이터 베이스도 구축되었다. 1990년대 중반 동안 ACI 349와 ACI 355 위원회의 주요한 활동은 CCD 방법과 34° 원추방법을 데이터 베이스하여 평가하는 것이었다. 이러한 평가결과 ACI 318, 349 및 355는 CCD방법을 적용하는 쪽으로 진행하였고 ACI 318-08 부록 D와 ACI 349-01 부록 B의 설계규정은 CCD방법에 기초하고 있다(콘크리트용 앵커설계법, 한국콘크리트학회, 2010).

2.2 앵커의 기본원리 및 파괴모드

후설치 부착식 앵커의 부착강도는 풀아웃(pull-out) 실험에 따른 직접적인 평가방법과 부재실험에 따른 간접적인 평가방법이 있으며 풀아웃 실험에 의한 부착강도는 종국인발내력을 기준으로 한다. 또한 CCD 설계기준에서 단일앵커의 부착강도는 풀아웃 실험결과를 회귀분석하여 평가하고 있으며 일반적으로 부착식 앵커의 내력평가는 CCD 설계기준이 널리 사용되고 있다(Fuchs, Eligehausen and Breen, 1995). 인발하중 작용시 콘크리트에 매입된 부착식 앵커의 인발강도는 그림 1과 같이 콘크리트 콘파괴, 콘크리트 쪼개짐 및 앵커의 뿔힘파괴 중 하나로서 부착강도는 앵커간격, 연단거리 그리고 문힘깊이에 의하여 결정된다.

2.3 앵커의 설계기준

식 (1)은 앵커의 문힘깊이가 충분하고 콘크리트 콘파괴 및 슬립파괴를 배제한 ACI Committee 318(ACI318-08, 2008)

(a) 콘크리트콘파괴 (b) 쪼개짐 (c) 뿔힘파괴

그림 1. 인발하중 작용시의 파괴모드

에서 제시한 인장을 받는 단일 및 그룹앵커의 공칭파괴강도(N_s)이며, 식 (2)는 앵커직경(d), 콘크리트강도(f_{ck}), 문힘깊이(h_{ef}) 및 연단거리(c_1)의 영향을 고려한 부착식 단일앵커의 부착강도(N_{no})이다.

$$N_s = n A_{se} f_{ut} \quad (N) \quad (1)$$

여기서, A_{se} = 단일앵커의 유효단면적(mm²)

f_{ut} = 앵커의 인장강도(MPa)

n = 그룹의 앵커수

$$N_{no} = \pi d h_{ef} \tau \quad (N) \quad (2)$$

여기서, N_{no} : 단일앵커의 부착강도

d : 앵커 직경(mm)

h_{ef} : 앵커의 문힘깊이(mm)

τ : 부착응력(MPa)

그리고 식 (3)은 앵커간격 및 연단거리에 따른 영향계수를 고려한 단일 및 그룹앵커의 공칭 부착강도(N_n)로서, CCD 설계기준에서는 앵커간격에 따른 수평투영면적비(A_N/A_{No})와 연단거리에 따른 수정계수(Ψ_2)를 고려하여 평가한다.

$$N_n = \frac{A_N}{A_{No}} \Psi_2 N_{no} \quad (N) \quad (3)$$

식 (3)에서 인장을 받는 단일 및 그룹앵커의 연단거리에 따른 영향계수는 다음과 같다.

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

여기서, N_n : 앵커간격 및 연단거리에 따른 영향계수를 고려한 부착강도

A_{No} : 단일앵커의 수평투영면적(mm²)

A_N : 앵커간격에 따른 수평투영면적(mm²)

Ψ_2 : 연단거리를 고려한 영향계수

c_1 : 연단거리

h_{ef} : 앵커의 문힘깊이

또한 부착식 주입형 앵커의 부착강도는 드릴구멍의 조건, 앵커의 제조과정상의 오차 및 앵커가 매입되는 콘크리트의 성질 등에 따라 변한다. 따라서 앵커의 부착강도를 결정하기 위해서는 충분한 수의 강도시험을 거쳐야 하며 시험을 통하여 얻은 값을 통계 처리하여 그 변화의 폭을 평가하여야 한다. ACI Committee 355(ACI 355.2-07, 2007)에서는 후설치 앵커의 콘크리트 파괴나 부착파괴가 일어난 실험값의 평균파괴강도(F_m)와 변동계수(ν)를 이용하여 5% 분위수($F_{5\%}$, characteristic capacity, 특성치)에 의한 부착강도를 식 (4)와 같이 제시하고 있다.

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

여기서, F_m = 평균 파괴강도(N)

v = 변동계수

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

3. 실험체 및 실험방법

3.1 일반사항

부착식 주입형 앵커의 부착력은 접착제의 주성분인 비닐 우레탄 메타아크릴레이트 레진과 균일한 골재 및 시멘트의 조합에 따른 접착력에 의한 콘크리트 구조체와 앵커볼트를 일체화시키는 공법으로, 콘크리트 내부에서 확장되어 힘을 받는 확장앵커에 비해 콘크리트 모재에 미치는 영향이 적어 앵커간격 및 모서리 간격이 좁은 경우 확장앵커보다 시공이 용이하다. 단 접착제 경화시간에 대한 제한이 있어 완전경화 후 하중을 가해야 하며 천공구멍의 분진청소 상태가 중요하다. 따라서 본 실험에서는 그림 2와 같이 천공깊이에 따른 레진 주입시 공기가 혼입되지 않도록 별도의 장비를 사용하였으며, 앵커 주입 시 표 1에 제시된 온도에 따른 경화시간을 준수하였다.

3.2 시공 제원

그림 3은 부착식 주입형 롱트앵커의 상세로 앵커 규격에 따라 D10부터 D24까지 구분되며 직경별 설치 제원은 표 3

그림 2. 부착식 주입형 앵커의 시공순서

표 1. 주입형 앵커의 온도에 따른 경화시간

모재의온도(°C)	설치가능시간	완전경화시간
-5	4시간	6시간
0	3시간	5시간
5	60분	90분
20	30분	50분
30	20분	40분
40	10분	30분

그림 3. 앵커상세

그림 4. 연단거리 및 간격

부착식 주입형 롱트앵커의 부착강도에 관한 실험적 연구

표 2. 부착식 주입형 앵커의 내약품 성능

화학물질	농도 (%)	화학 물질	농도 (%)	화학 물질	농도 (%)
아세톤	90	벤젠	85	질산	30
암모니아	20	디이젤	87	가솔린	95
아닐린	80	메탄올	92	염산	20

표 3. 앵커 직경별 설치 제원

단위 (mm) \ SIZE	M10	M12	M16	M20	M24
드릴비트직경 (d_o)	12	16	20	25	30
구멍깊이 (h)	93	115	130	175	215
피부착물두께 (t_{fx})	20	30	40	50	60
앵커문힘깊이 (h_{nom})	90	110	125	170	210
모재최소두께 (h_{min})	120	140	170	220	270
볼트길이 (L)	130	160	190	240	290

표 4. 앵커볼트 축단면적 및 유효단면적

호칭지름	M10	M12	M16	M20	M24
볼트축지름 (d , mm)	10	12	16	20	24
축단면적 (A , mm ²)	79	113	201	314	452
유효단면적 (A_e , mm ²)	58	84	157	245	353

과 같다. 표 2는 부착식 주입형 앵커의 내약품 성능이며, 표 4는 앵커볼트의 축단면적과 나사부 유효단면적이다.

3.3 콘크리트 실험체

실험용 콘크리트 블록은 앵커의 삽입깊이, 연단거리, 앵커 간격을 고려하여 ASTM E488-96에서 제시하는 최소 클리어런스 및 최소두께($1.5 h_{ef}$)를 확보하기 위해 160 cm×160 cm×30 cm 크기의 거푸집 제작후 레미콘을 사용하여 타설하였다. 콘크리트 타설과 동시에 압축강도용 표준 원통형 공시체 17개의 몰드를 제작했으며 48시간 후 거푸집을 제거하고 콘크리트 블록과 공시체를 부직포로 덮은후 실내(20±3°C)에서 시료가 항상 습윤상태를 유지하도록 살수양생을 28일간 실시하였다.

3.4 앵커의 인발실험 방법

부착식 주입형 롱트앵커의 부착강도를 평가하기 위한 인발 실험은 ASTM F1554-99 Standard specification for anchor bolts(1999)에 의해서 수행하였으며, 가력은 ASTM F1554-99 Standard specification에 준하여 자체 제작한 가력용 프레임에 로드셀을 설치한 후 유압장비를 이용하여 최대내력까지는

표 5. 실험장비의 최소 클리어런스

Adhesive Anchors		All Other Anchors	
Spacing between Test Supports	Minimum Distance to Edge or Test Frame	Spacing between Test Supports	Minimum Distance to Edge or Test Frame
Tension Loads			
$2.0 h_{ef}$	$1.0 h_{ef}$	$4.0 h_{ef}$	$2.0 h_{ef}$
Shear Loads			
$4.0 h_{ef}$	$2.0 h_{ef}$	$4.0 h_{ef}$	$2.0 h_{ef}$

그림 5. 앵커의 인발실험 셋팅전경

그림 6. 인발실험 전경

초당 1 mm의 변위를 기준으로 점중 가력하였고 최대내력이 후는 실험상황에 따라 하중제어하였다. 그리고 앵커의 변위측정을 위하여 아답터 중앙부에 200 mm 변위계를 설치한 후 데이터 로거를 사용하여 초당 한번씩 변위량을 측정하였으며 스트레인 게이지를 부착하여 콘크리트 및 앵커의 변형율을 측정하였다. 그림 5~6은 인발실험 셋팅 및 실험전경이며 그림 7은 각종 앵커 실험용 도구 및 앵커 삽입과정이다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 재료시험 결과

표 6은 콘크리트 배합비 및 압축강도로서, 콘크리트 설계기준강도 21 MPa를 기준으로 배합설계한 17개 콘크리트 공시체의 평균압축강도는 26 MPa, 표준편차 2.53 그리고 변동계수는 9.7%로 나타나 콘크리트 품질관리는 비교적 양호하였으

(a) 압축강도시험

(b) 콘크리트블록

(c) 훅트앵커

(d) 앵커드릴링

(e) 먼지제거기

(f) 앵커인발지그

(g) 레진주입건

(h) 훅트앵커삽입

그림 7. 인발실험도구 및 삽입과정

표 6. 콘크리트 배합비 및 압축강도

설계강도 MPa	슬럼프 mm	물 시멘트 비 (%)	잔골재율 (%)	단위재료량 (kN/m³)				평균 압축강도 MPa
				시멘트	잔골재	굵은 골재	물	
21	80	48	47	3.1	8.5	9.5	1.5	26

며 평균배합강도 24 MPa를 상회하여 설계기준의 규정을 만족하였다. 또한 KS B 0802에 준한 12개의 직경별 훅트앵커 (S20C, 아연도금)의 인장시험결과 평균항복강도는 275 MPa, 평균인장강도 435 MPa 그리고 평균항복비는 0.63로 각각 나타났다.

4.2 부착식 앵커의 인발실험 결과

표 7~8은 기본형 실험체 및 문힘깊이에 따른 실험결과이며, 표 10은 앵커간격 그리고 표 12는 연단거리에 따른 실험결과이다. 그림 8은 비균열 무근 콘크리트에 매입된 부착식 주입형 훅트앵커 IBTM 실험체의 부착강도에 대한 하중-변위 관계곡선으로, 인발하중 작용시 부착력에 대한 초기강성은 양호하였으며 최대내력이후의 변형능력은 비교적 완만하게 나타났다. 그림 9는 IBTM 실험체의 인발실험 종료후 콘크리트

그림 8. IBTM 실험체의 하중-변위 관계곡선

그림 9. IBTM 실험체의 콘크리트 파괴형상

파괴형상이다.

4.2.1 기본형 실험체의 부착강도

IBTM의 인발내력은 앵커직경, 묻힘깊이, 연단거리 그리고 앵커간격 등에 영향을 받는다. 본 연구에서는 IBTM의 인발 하중 작용시 앵커간격 및 연단거리의 영향을 받지 않는 단일

부착식 주입형 로트앵커의 부착강도에 관한 실험적 연구

표 7. 기본형 실험체의 실험결과

실험체명	앵커 직경 d , mm	삽입 깊이 h_{ef} , mm	연단 거리 c , mm	최대 하중 N_{us} , kN	변위 δ , mm
IBTM10H- 90	10	90	300	31.60	8.86
IBTM12H- 90	12	90	300	33.82	10.38
IBTM12H-105	12	105	300	38.99	13.06
IBTM12H-110	12	110	300	51.56	12.10
IBTM12H-130	12	130	300	70.99	16.78
IBTM16H-125	16	125	300	58.67	15.71
IBTM16H-145	16	145	300	59.72	12.48
IBTM16H-165	16	165	300	60.81	15.56
IBTM20H-190	20	190	300	115.85	20.08
IBTM20H-210	20	210	300	119.62	3.12
IBTM24H-210	24	210	300	182.10	20.63
IBTM24H-235	24	235	300	223.22	18.08
IBTM24H-255	24	255	300	231.43	28.14

표 8. 묻힘깊이에 따른 실험결과

실험체명	앵커 직경 d , mm	묻힘 깊이 h_{ef} , mm	볼트 길이 L , mm	최대 하중 N_{us} , kN	변위 δ , mm
IBTM10D- 50	10	50	130	7.47	3.57
IBTM10D- 80	10	80	130	11.27	4.76
IBTM10D-110	10	110	130	12.45	3.54
IBTM12D- 50	12	50	155	17.29	5.10
IBTM12D- 80	12	80	155	26.31	8.35
IBTM12D-110	12	110	155	43.18	13.65
IBTM16D- 50	16	50	190	12.97	3.05
IBTM16D- 80	16	80	190	18.18	6.50
IBTM16D-110	16	110	190	45.01	10.61
IBTM16D-140	16	140	190	52.64	14.07
IBTM16D-170	16	170	190	92.19	15.69
IBTM20D- 50	20	50	235	38.75	5.22
IBTM20D- 80	20	80	235	53.83	6.12
IBTM20D-110	20	110	235	128.19	14.25
IBTM20D-140	20	140	235	133.50	16.85
IBTM20D-170	20	170	235	142.91	15.56
IBTM20D-200	20	200	235	180.51	22.27
IBTM24D- 50	24	50	290	19.09	13.28
IBTM24D- 80	24	80	290	27.89	15.38
IBTM24D-110	24	110	290	56.02	17.05
IBTM24D-140	24	140	290	88.37	24.03
IBTM24D-170	24	170	290	97.91	24.01
IBTM24D-200	24	200	290	148.11	22.61
IBTM24D-230	24	230	290	183.68	22.64

앵커의 부착응력을 평가하기 위하여 IBTM 각 직경별로 표준묻힘깊이에서 인발실험을 수행하였으며, 실험결과에 따른 부착응력은 식 (2)에 의하여 구하였다. 그림 10은 기본형 실험체의 앵커직경에 따른 부착응력을 나타낸 것으로, 점선은 평균값을 이점쇄선은 선형회귀분석한 결과로서 평균 및 표준

그림 10. 기본형 실험체의 부착응력

그림 11. 기본형 실험체의 정규분포곡선

편차 그리고 변동계수를 통계처리하여 나타냈다. 그림 10에서 IBTM의 부착응력은 표준문합깊이에서 약간의 편차는 있지만 앵커직경의 크기에 비례하여 저하하였으며 선형회귀분석결과 직경 1 mm당 0.105 MPa 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 비균열 무근콘크리트에 매입된 IBTM의 5% 분위수에 따른 부착응력을 구하고자 실험값을 부착응력으로 무차원화하여 그림 11과 같이 히스토그램 및 확률밀도곡선으로 나타냈으며 정규분포곡선 특성을 이용한 5% 분위수의 값은 6.72 MPa로 나타났다.

4.2.2 문합깊이에 따른 부착강도

기존의 연구에서 앵커의 표준문합깊이는 앵커직경의 8~10배 정도가 타당한 것으로 나타났으며 표준문합깊이 이하의 경우 문합깊이에 비례하여 부착강도가 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 표준문합깊이(h_{nom})이하에서 앵커의 부착강도에 대한 타당성을 검토하기 위하여 앵커 직경별로 문합깊이에 따른 실험값을 기본형 실험체의 평균값과 비교 검토 하였다. 그림 12는 문합깊이에 따른 실험값에 기본형 실험체 평균값의 비($N_{u(test)}/N_{u(mean)}$)로서 점선은 평균값이며 이 점 쇄선은 선형회귀분석한 결과이다. 그림 12에서 평균 및 표준편차 그리고 변동계수(Coefficient of Variance, C.V.)를 통계처리한 IBTM의 부착강도는 표준문합깊이 이하인 경우 평균값 이하로 나타나 문합깊이에 비례하여 부착강도가 떨어짐을 알 수 있다. 그리고 실험결과를 정량적으로 평가하기

표 9. 문합깊이에 대한 영향계수

실제 앵커 문합깊이 제한	문합깊이 영향계수
$h_{ef} \leq h_{act} \leq 2.0 h_{ef}$	$0.37 h_{act}/h_{ef}$

그림 12. 문합깊이에 따른 부착강도

표 10. 앵커간격에 따른 실험결과

실험체명	앵커 직경 d , mm	문합 깊이 h_{ef} , mm	앵커 간격 s , mm	최대 하중 N_{us} , kN	변위 δ , mm
IBTM10S-90	10	90	90	52.72	9.29
IBTM10S-120	10	90	120	63.17	15.12
IBTM10S-160	10	90	160	66.20	11.93
IBTM10S-180	10	90	180	74.80	13.06
IBTM10S-210	10	90	210	85.47	14.01
IBTM12S-90	12	110	90	83.48	7.30
IBTM12S-120	12	110	120	102.73	15.93
IBTM12S-160	12	110	160	108.68	16.49
IBTM12S-180	12	110	180	116.58	17.85
IBTM12S-210	12	110	210	126.26	16.12
IBTM16S-120	16	125	120	95.36	18.51
IBTM16S-160	16	125	160	98.74	16.41
IBTM16S-180	16	125	180	111.98	10.80
IBTM16S-210	16	125	210	124.88	10.51
IBTM16S-280	16	125	280	132.21	10.29
IBTM20S-160	20	170	160	135.83	21.00
IBTM20S-180	20	170	180	144.78	13.52
IBTM20S-210	20	170	210	162.59	11.16
IBTM20S-240	20	170	240	170.06	18.84
IBTM20S-280	20	170	280	174.21	16.90
IBTM20S-320	20	170	320	176.49	16.99
IBTM20S-420	20	170	420	180.63	18.53
IBTM24S-240	24	210	240	249.38	17.49
IBTM24S-320	24	210	320	286.43	19.07

위해 선형회귀분석한 결과 실제문합깊이가 표준문합깊이의 0.1배 작아질수록 앵커의 부착강도는 3.7% 저하됨을 알 수 있다. 따라서 부착식 주입형 앵커 시공시 표준문합깊이 이하의 시공은 문합깊이에 따른 부착응력을 평가하여 앵커의 수량을 결정하여야 한다. 표 9는 문합깊이에 따른 실험결과를 분석한 영향계수 값이다.

4.2.3 앵커간격에 따른 부착강도

그룹앵커에서 일반적으로 앵커의 인발내력은 인접한 앵커의 콘 파괴에 의한 영향으로 앵커간격이 작아짐에 따라 앵커의 인발내력은 감소한다. 앵커간격에 따른 IBTM의 인발내력은 CCD 설계기준과 동일하게 단일앵커의 내력에 수평투영면적의 비를 곱함으로써 구할 수 있다. 그림 13은 앵커간격에 따른 영향계수인 수평투영면적비(A_N/A_{No})를 평가하기 위하여 실험값($N_{u(test)}$)을 기본형 실험체 부착강도의 비로 나타낸 것으로 앵커 간격비(s/h_{ef}) 2.0이하에서 약간의 편차는 있으나 거의 일정하게 나타났다. 그림 14는 실험값에 대한 기본형 실험체의 공칭강도비($N_{u(test)}/N_{no(predicted)}$)에 따른 히스토그램 및 정규분포곡선으로 앵커간격에 따른 영향계수를 적용한 5%

그림 13. 앵커간격에 따른 부착강도

그림 14. 앵커간격에 따른 정규분포곡선

그림 15. 앵커간격 영향계수를 적용한 부착강도

분위수의 값은 1.09로 나타났으며 이는 앵커의 파괴가 대부분 부착파괴에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 앵커의 파괴 성상이 주로 콘크리트 부착파괴 형태로 일어난다면 CCD 설계기준에서 제시하고 있는 앵커간격(삽입깊이의 2배, $2h_{ef}$)은 합리적으로 판단된다. 그림 15는 앵커간격에 따른 영향계수인 수평투영면적비를 적용한 것으로 앵커간격이 문힘깊이의 2배 이상인 실험체는 영향계수를 고려하지 않으므로 그림 15에서 제외하였다. 그림 16은 수평투영면적비의 영향을 고려한 정규분포곡선으로 앵커간격에 따른 영향계수인 수평투영면적비를 적용한 5% 분위수의 값은 1.23으로 나타났다. 이로 미루어 앵커간격에 따른 영향계수인 수평투영면적비는 합리적이고 안전측 임을 알 수 있다. 표 11은 앵커간격에 따른 실험결과를 분석하여 수평투영면적비의 영향을 고려한 영향계수 값이다.

그림 16. 앵커간격 영향계수를 적용한 정규분포곡선

표 11. 앵커간격에 대한 영향계수

앵커 간격	M10	M12	M16	M20	M24
45	0.63				
50	0.64				
55	0.65	0.63			
60	0.67	0.64			
65	0.68	0.65	0.63		
70	0.69	0.66	0.64		
80	0.72	0.68	0.66		
90	0.75	0.70	0.68	0.63	
100	0.78	0.73	0.70	0.65	
120	0.83	0.77	0.74	0.68	0.64
140	0.89	0.82	0.78	0.71	0.67
160	0.94	0.86	0.82	0.74	0.69
180	1.00	0.91	0.86	0.76	0.71
200		0.95	0.90	0.79	0.74
220		1.00	0.94	0.82	0.76
250			1.00	0.87	0.80
280				0.91	0.83
310				0.96	0.87
340				1.00	0.90
390					0.96
420					1.00

4.2.4 연단거리에 따른 부착강도

IBTM의 연단거리에 따른 부착강도는 연단거리가 작아짐에 따라 감소하며, 연단거리에 따른 앵커의 내력은 앵커간격에 따른 내력 산정과 동일하게 단일앵커의 내력에 수평투영면적비를 곱함으로써 구할 수 있다. 본 연구에서는 연단거리에 따른 수평투영면적비와 연단효과계수를 평가하기 위해 그림 17과 같이 실험값에 대한 기본형 실험체의 부착강도비($N_{u(test)}/N_{no(predicted)}$)로 무차원화하여 회귀분석한 결과를 나타내었다. 그림 17에서 $N_{u(test)}/N_{no(predicted)}$ 비는 연단거리에 비례하여 부착강도가 다소 증가함으로서 CCD 설계기준에서 제안하고 있는 연단효과계수가 필요함을 알 수 있으며, 그림 18은 연단

그림 17. 연단거리에 따른 부착강도

그림 18. 연단거리에 따른 정규분포곡선

그림 19. 연단거리 영향계수를 적용한 부착강도

거리에 따른 정규분포곡선으로 영향계수를 적용한 5% 분위수의 값은 1.13으로 평가되었다. 그림 19는 연단거리에 따른 영향계수인 수평투영면적비와 연단효과계수를 적용한 그래프

그림 20. 연단거리 영향계수를 적용한 정규분포곡선

표 12. 연단거리에 따른 실험결과

실험체명	앵커 직경 d , mm	물뿔 깊이 h_{ef} , mm	연단 거리 c , mm	최대 하중 N_u , kN	변위 δ , mm
IBTM10E-45	10	90	45	36.41	8.00
IBTM10E-65	10	90	65	44.88	1.30
IBTM10E-90	10	90	90	58.79	9.76
IBTM12E-55	12	110	55	55.53	0.64
IBTM12E-80	12	110	80	64.30	6.06
IBTM12E-90	12	110	90	68.34	13.74
IBTM12E-110	12	110	110	76.39	15.64
IBTM12E-140	12	110	140	78.66	8.55
IBTM16E-65	16	125	65	62.58	7.00
IBTM16E-90	16	125	90	77.47	2.20
IBTM20E-90	20	170	90	96.57	0.98
IBTM20E-125	20	170	125	114.64	15.58
IBTM20E-170	20	170	170	146.62	14.74

표 13. 연단거리에 대한 영향계수

연단거리	M10	M12	M16	M20	M24
45	0.64				
50	0.67				
55	0.71	0.64			
60	0.75	0.67			
65	0.79	0.70	0.65		
70	0.83	0.73	0.68		
80	0.91	0.79	0.73		
90	1.00	0.86	0.79	0.66	
100		0.93	0.85	0.70	
110		1.00	0.91	0.74	0.65
120			0.97	0.78	0.68
140			1.00	0.86	0.75
160				0.95	0.82
180				1.00	0.89
210					1.00

로서 연단거리가 작을수록 $N_{u(test)}/N_{u(predicted)}$ 비가 커짐을 알 수 있으며, 그림 20은 연단거리에 따른 영향계수를 적용한 정규분포곡선으로 수평투영면적비를 적용한 5% 분위수의 값은 1.0으로 나타나 수평투영면적비와 연단효과계수는 합리적이고 안전측 임을 알 수 있다. 그리고 표 13은 연단거리에 따른 실험결과를 분석하여 수평투영면적비의 영향을 고려한 영향계수 값이다.

5. 결 론

비균열 무근콘크리트에 매입된 부착식 주입형 록트앵커의 부착강도를 평가하기 위하여 앵커직경, 문힘깊이, 앵커간격 및 연단거리를 변수로 한 인발실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 앵커직경에 따른 기본형 실험체의 부착응력은 약간의 편차는 있지만 표준 문힘깊이에서 앵커직경의 크기에 비례하여 낮게 나타났으며, 선형회귀분석한 결과 직경 1 mm 당 0.105 MPa 감소하는 것으로 나타났다. 또한 정규분포곡선의 특성을 이용한 5% 분위수를 적용한 부착응력은 6.72 MPa로 나타났다.
- 2) 록트앵커의 문힘깊이에 따른 부착강도는 앵커의 문힘깊이에 비례하여 낮게 나타났으며 선형회귀분석한 결과 실제 문힘깊이가 표준 문힘깊이의 0.1배 작아질수록 앵커의 부착강도는 3.7% 낮게 나타났다. 따라서 부착식 주입형 앵커 시공시 표준 문힘깊이 이하의 경우 문힘깊이에 따른 부착응력을 평가하여 앵커의 수량을 결정하여야 할 것으로 사료된다.
- 3) 록트앵커의 앵커간격에 따른 영향계수인 수평투영면적비를 평가하기 위하여 실험값을 기본형 실험체의 공칭강도비로 나타낸 결과 앵커간격비 2.0이하에서 약간의 편차는 있으나 실험값에 대한 공칭강도비는 일정하게 나타났다. 또한 실험값에 대한 기본형 실험체의 앵커간격에 따른 영향계수를 적용한 5% 분위수의 값은 1.09로 나타나 앵커의 파괴가 대부분 부착파괴에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 앵커의 파괴상상이 주로 콘크리트 부착파괴 형태로 나타난다면 CCD 설계기준에서 제시하고 있는 앵커간격(문힘깊이의 2배, $2h_{eh}$)은 합리적으로 판단된다. 그리고 수평투영면적비의 영향을 고려한 앵커간격에 따른 5% 분위수의 값은 1.23으로 나타나 앵커간격에 따른 영향계수인 수평투영면적비는 합리적이고 안전측 임을 알 수 있다.

- 4) 록트앵커의 연단거리에 따른 수평투영면적비와 연단효과계수를 평가하기 위해 실험값에 대한 기본형 실험체의 부착강도비로 무차원화하여 선형회귀분석한 결과 연단거리에 비례하여 부착강도가 다소 증가함으로서 CCD 설계기준에서 제안하고 있는 연단효과계수가 필요함을 알 수 있다. 그리고 연단거리에 따른 수평투영면적비를 적용한 5% 분위수의 값은 1.0으로 나타나 수평투영면적비와 연단효과계수는 합리적이고 안전측 임을 알 수 있다.

참고문헌

- 한국콘크리트학회 (2010) 콘크리트용 앵커설계법 및 예제집, 한국콘크리트학회.
- ACI Committee 318 (2008) Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318M-08), American Concrete Institute, Detroit, Mich..
- ACI Committee 355 (2007) Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete (ACI 355.2-07), American Concrete Institute, Detroit, Mich..
- ASTM E488-96 (1996) Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements.
- ASTM F1554-99 (1999) Standard specification for anchor bolts, steel, 36, 55, and 105-ksi yield strength, American Society for Testing and Materials.
- Eligehausen, R. (1995) Behavior of Fasteners Loading in Tension in Cracked Reinforced Concrete, ACI Journal, Proceedings, Vol. 92, No. 3.
- Fuchs, W, Eligehausen, R. & Breen, J. (1995) Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, ACI Structural Journal, Vol. 92, No. 6, Nov-Dec, pp. 787-802.
- Frigui, I. (1992) "Tensile Capacity of Single Anchors in Concrete", M.S. Thesis, The University of Texas at Austin.
- Hallowell, J. M. (1996) "Tensile and Shear Behavior of Anchors in Uncracked and Cracked Concrete under Static and Dynamic Loading", M.S. Thesis, The University of Texas at Austin.
- PCI (1999) PCI design handbook - "Precast and Prestressed Concrete", 5rd Edition, Prestressed Concrete Institute, Chicago.
- Rodriguez, M. (1995) "Behavior of Anchors in Uncracked Concrete under Static and Dynamic Loading", M.S. Thesis, The University of Texas at Austin.
- Rodriguez, M. (2001) Dynamic Behavior of Tensile Anchors to Concrete, ACI Structural Journal, Vol. 98.

© 논문접수일 : 2011년 10월 10일
 © 심사의뢰일 : 2011년 10월 21일
 © 심사완료일 : 2012년 04월 25일