부착식 주입형 철근앵커의 부착력에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Bond Strength of Re-bar 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 analysis or experimental studies on anchor system with adhesive type are not sufficient yet. Accordingly, we performed pull-out tests to analyze the bond strength of re-bar anchors with adhesive type embedded in non-cracking plain concrete, with variables such as anchor diameter, embedded length, and edge distance. As a result, we got the following results. 1) As a result of linear regression analysis on the bond strength of re-bar anchors with adhesive type by the anchor diameter, it showed that bond strength reduced by 0.15MPa per 1mm diameter. 2) As a result of linear regression analysis on the bond strength of re-bar anchors with adhesive type by the embedded length, bond strength reduced by 4.9% each when the embedded length reduced by 0.1 times of the standard embedded length. 3) The value of 5% fracture probability, applying the influence coefficient by the edge distance of re-bar anchors with adhesive type, resulted in 1.2.

Key words : Re-bar anchors, Anchor diameter, Embedment depth, Edge distance, Pull-out test, Bond 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 본 연구에서는 비균열 무근콘크리트에 매입된 부착식 주입형 철근앵커의 부착력을 평가하기 위하여 앵커직경, 묻힘길이 그리고 연단거리를 변수로 한 인발실험을 실시하였으며, 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 1) 부착식 주입형 철근앵커의 앵커직경에 따른 부착력을 선형회귀분석한 결과, 직경 1mm당 0.15 MPa 감소하는 것으로 나타났다. 2) 부착식 주입형 철근앵커의 묻힘길이에 따른 부착력을 선형회귀분석한 결과, 표준묻힘길이의 0.1배 작아질수록 약 4.9% 낮게 나타났다. 3) 부착식 주입형 철근앵커의 연단거리에 따른 영향계수를 적용한 5% 파괴확률 값은 1.2로 평가되었다.

핵심용어 : 철근앵커, 앵커직경, 묻힘길이, 연단거리, 인발실험, 부착력

1. 서 론

최근 건축물의 보수·보강 및 리모델링시 중량물 및 구조부재를 부착시키거나 고정하는데 있어서 시공의 유연성 및 용이성으로 후설치 부착식 주입형 철근앵커의 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 케미컬 레진을 이용한 부착식 주입형 철근앵커를 대상으로 앵커직경(anchor diameter), 묻힘길이(embedded length) 및 연단거리(edge distance)를 변수로 한 인발실험(pull-out tests)을 통하여 무근

*교신저자. 정회원. 한라대학교 건축공학과 교수(Tel: +82-33-760-1275, Fax: +82-33-760-1271, E-mail: syseo@halla.ac.kr)
Corresponding Author. Member. Professor, Department of Architectural Engineering, Halla University

콘크리트에 매입된 부착식 주입형 철근앵커의 부착력(bond strength)에 미치는 영향을 규명하고 국내 설계기준(design code) 제정을 위한 기초자료를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

2. 앵커설계

2.1 앵커의 기본원리

후설치 부착식 앵커의 부착력은 풀아웃 실험(pull-out tests)에 따른 직접적인 평가방법과 부재실험에 따른 간접적인 평가방법이 있으며 풀아웃 실험에 의한 부착강도는 중국인발내력을 기준으로 한다. 식 (3)은 CCD 설계기준(Concrete Capacity Design Approach for Fastening to Concrete, Fuchs, Eligehausen, and Breen, 1995)으로, 단일앵커의 부착력은 풀아웃 실험결과를 회귀분석하여 평가하고 있으며 일반적으로 부착식 앵커의 내력평가는 CCD 설계기준이 널리 사용되고 있다. 그림 1은 인발하중 작용시 콘크리트에 매입된 부착식 앵커의 파괴모드로서, 앵커의 부착력은 콘크리트 콘파괴 및 쪼개짐 그리고 앵커의 뿔힘파괴 중 하나로서 앵커간격, 연단거리 그리고 뿔힘길이에 의하여 결정된다.

2.2 설계기준

식 (1)은 앵커의 뿔힘길이가 충분하고 콘크리트 콘파괴 및 슬립파괴를 배제한 ACI Committee 318(ACI318-08, 2008)에서 제시한 인장을 받는 단일 및 그룹앵커의 공칭파괴강도(N_s)이며, 식 (2)는 앵커직경(d), 콘크리트강도(f_{ck}), 뿔힘길이(h_{ef}) 및 연단거리의 영향을 고려한 부착식 단일앵커의 부착력(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, τ = 부착응력(MPa)

그리고 식 (3)은 앵커간격 및 연단거리에 따른 영향계수를 고려한 단일 및 그룹앵커의 공칭 부착력(N_n)으로서, CCD 설계기준에서는 앵커간격에 따른 수평투영면적비(A_N/A_{No})와 연단거리(c_1)에 따른 영향계수(ψ_2)를 고려하여 평가한다.

$$N_n = \frac{A_N}{A_{No}} \psi_2 N_{no} \quad (N) \quad (3)$$

(a) Con-type (b) Splitting (c) Pull-out

Fig. 1. Concrete fracture mode

식 (3)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, A_{No} = 단일앵커의 수평투영면적(mm²)

A_N = 앵커간격에 따른 수평투영면적(mm²)

또한 부착식 주입형 앵커의 부착력은 드릴구멍의 조건, 앵커의 제조과정상의 오차 및 앵커가 매입되는 콘크리트의 성질 등에 따라 변한다. 따라서 앵커의 부착력을 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 부착력을 식 (4)와 같이 제시하고 있다.

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

여기서, 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

Fig. 2. Construction of chemical anchors

Table 1. Hardening time of chemical anchors according to temperature

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

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(케미컬앵커 기술자료, 송림기업(주), 2010).

3.2 실험체 제원

그림 3은 부착식 주입형 철근앵커의 시공상태로 앵커 규격에 따라 D10부터 D25까지 구분되며 직경별 설치제원은 표 2~3과 같다. 실험용 콘크리트 블록은 앵커의 묻힘길이, 연단거리, 앵커간격을 고려하여 ASTM E488-96(Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements, 1996)에서 제시하는 최소 클리어런스 및 최소두께($1.5h_{ef}$)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($20\pm3^{\circ}\text{C}$)에서 시료가 항상 습윤상

Fig. 3. Anchor detail

Fig. 4. Test specimen

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

호칭	D10	D13	D16	D19	D25
드릴비트직경	12	16	20	25	30
구멍깊이	93	115	130	175	215
철근묻힘길이	90	110	125	170	210
모재최소두께	120	140	170	220	270

Table 3. Size of re-bar anchors(mm, mm²)

호칭	D10	D13	D16	D19	D25
공칭지름	9.5	12.7	15.9	19.1	25.4
공칭둘레	30	40	50	60	80
공칭단면적	71.3	126.7	198.6	286.5	506.7

태를 유지하도록 살수양생을 28일간 실시하였다.

3.3 앵커의 인발실험

부착식 주입형 철근앵커의 부착력을 평가하기 위한 인발실험은 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 초당 1 mm의 변위를 기준으로 점중 가력하였고 최대내력이후는 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. 표 4는 실험체 셋팅시의 최소 클리어런스이며, 그림 5~6은 인발실험 상세도 및 실험전경 그리고 그림 7은 실험체 제원이다.

Table 4. Test minimum clearance

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}

Fig. 5. Pull-out test detail

Fig. 6. Pull-out test

Fig. 7. Test processing

4. 실험결과 및 분석

4.1 재료시험 결과

표 5는 콘크리트 배합비 및 압축강도로서, 콘크리트는 물, 시멘트, 골재, 혼화제등이 혼합되어 만들어지므로 재료의 배합비에 따라 콘크리트의 성질이 달라지며, 같은 배합설계에서도 운반, 타설, 다짐, 양생등에 따라 콘크리트의 강도에 변화가 생기기 때문에 본 연구에서는 콘크리트 설계기준강도 21 MPa의 콘크리트 배합을 위하여 표준 원주 공시체 17개의 압축강도 시험을 실시하였으며, 그 결과치를 통계처리하여 강도 및 변화의 폭을 평가하였다. 시험결과 콘크리트 공시체의 평균압축강도는 26 MPa, 표준편차 2.53 그리고 변동계수는 9.7%로 나타나 콘크리트 품질관리는 비교적 양호하였으며 평균배합강도 24 MPa를 상회하여 설계기준의 규정을 만족하였다. 그리고 철근의 인장 시험방법(Method of Tension Test for Metallic Materials, KS B 0802)에 준한 12개의 직경별 철근앵커(SD400, KS B 0801 금속재료 인장 시험편)의 인장시험결과, 연신율 18%, 평균항복강도 435 MPa, 평균인장강도 565 MPa 그리고 평균항복비 0.77로 각각 나타났다.

4.2 인발실험 결과

그림 8은 비균열 무근 콘크리트에 매입된 부착식 주입형 철근앵커의 부착력에 대한 하중-변위 관계곡선으로, ISBTD 13H-110 및 ISBTD19D-110 실험체의 경우, 인발시 부착력

Fig. 8. Load-displacement curve

Fig. 9. Fracture mode

Table 5. Compressive strength of concrete

설계강도 MPa	슬럼프 mm	물시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	단위재료량 (kN/m ³)				평균 압축강도 MPa
				시멘트	잔골재	굵은골재	물	
21	80	48	47	3.1	8.5	9.5	1.5	26

에 대한 초기강성은 비교적 양호하였으며 항복이후 최대내력에 이르기까지 완전한 내력상승을 보인후 파단하였다. 그리고 ISBTD25D-140 실험체는 항복이후 완전한 소성흐름을 보이다가 최대내력이후 급격한 내력저하 현상을 나타냈으며, ISBTD19E-125 실험체는 소성 흐름과 함께 완전한 변형능력을 보여주었다. 그림 9는 인발후 실험체 파괴 전경으로, ISBTD16D-80 실험체는 콘크리트 콘파괴 현상을 보였으며, ISBTD25H-210 실험체는 콘크리트 쪼개짐 파괴형상으로 나타났다.

4.2.1 기본형 실험체의 부착력

표 6은 기본형 실험체의 앵커직경에 따른 실험결과로서, 부착식 주입형 철근앵커의 앵커간격 및 연단거리의 영향을 받지 않는 단일앵커의 부착력을 평가하기 위하여 앵커 직경별로 표준 문힘길이에서 인발실험을 수행하였으며, 실험결과에 의한 부착력은 식 (3)에 의하여 구하였다. 실험결과 ISBTDH 실험체의 경우 앵커직경 및 문힘길이에 비례하여 최대하중 및 최대변위값은 다소 높게 나타났다. 그리고 표 7은 철근앵커 각 직경별 추천강도 산정시 정규분포곡선상의 5% 파괴확률을 적용하고 직경에 따른 부착력의 상이함을 실험결과에 반영하여 구한 앵커 직경별 기본형 실험체의 공칭응력 및 추천공칭응력으로서, 앵커직경에 비례하여 공칭응력 및 추천공칭응력은 다소 낮게 나타났다. 그림 10은 각 앵커 직경별 부착응력을 나타낸 것으로 점선은 평균값을 그리고 이점쇄선은 선형회귀분석한 것으로 평균 및 표준편차 그리고 변동계수를 통계처리하여 나타났다. 그림 10에서 직경에 따른 철근앵커의 부착응력은 약간의 편차는 있지만 표준 문힘길이에서 앵커직경의 크기에 비례하여 낮게 나타났으며, 선형회귀분석결과 직경 1 mm당 0.15 MPa 감소하는 것으로 나타났다. 그림 11은 비균열 무근콘크리트에 매입된 부착식 주입형 철근앵커의 5% 파괴확률의 부착응력을 구하고자 실험결과를 부착면적으로 무차원화($N_{u(test)}/(\pi d h_{ef})$)하여 히스토그램 및 확률밀도곡

Fig. 10. Bond strength of basic specimen

Fig. 11. Normal distribution of basic specimen

선으로 나타낸 것으로 정규분포곡선의 특성을 이용한 5% 파괴확률을 적용한 평균 부착응력은 5.5 MPa로 나타났다.

4.2.2 문힘길이에 따른 부착력

표 8은 부착식 주입형 철근앵커의 문힘길이에 따른 인발실험 결과로서, 앵커의 문힘길이가 표준 문힘길이 이하인 경우 ISBTDH 실험체의 부착력은 문힘길이에 비례하여 높게 나타났다.

또한 표준문힘길이(h_{nom})이하에서 철근앵커의 부착력에 대한 타당성을 검토하기 위하여 앵커직경별로 문힘길이에 따른 실험값을 앵커직경별 기본형 실험체의 평균값과 비교 검토하였다. 그결과 무차원 문힘길이에 비례하여 무차원 부착응력은 다소 크게 나타났다. 그림 12는 문힘길이에 따른 실험값을 기본형 실험체 평균값의 비($N_{u(test)}/N_{u(mean)}$)로 나타낸 것으로, 그림 12에서 철근앵커의 부착력은 앵커의 실제 문힘길이가 표준 문힘길이 이하인 경우 평균값 이하로 떨어지는 것을 알 수 있으며, 실제 문힘길이가 작으면 작을수록 부착력은 낮게 나타났다. 그리고 실험결과를 정량적으로 평가하기 위해 선형회귀분석한 결과 실제 문힘길이가 표준 문힘길이의 0.1배 작아질수록 철근앵커의 부착력은 4.9% 낮게 나타났다. 따라서 철근앵커 시공시 표준 문힘길이 이하의 철근앵커의 내력을 정량적으로 평가하여 적용하여야 할 것으로 사료된다. 표 9~10은 문힘길이에 따른 영향계수 및 설계강도로서 문힘길이에 비례하여 설계강도또한 크게 나타났다.

Table 6. Test results of basic specimen

실험체명	철근 직경 d , mm	문힘 길이 h_{ef} , mm	연단 거리 c , mm	최대 하중 N_u , kN	변위 d , mm
ISBTD10H-90	10	90	300	25.2	10
ISBTD13H-110	13	110	300	37.2	14
ISBTD16H-125	16	125	300	51.1	16
ISBTD19H-170	19	170	300	76.9	18
ISBTD25H-210	25	210	300	109.6	20

Table 7. Nominal stress of basic specimen

실험체명	평균값	표준 편차	공칭 응력	추천공칭 응력
ISBTD10H-90	8.91	1.024	5.43	5.43
ISBTD13H-110	8.28	1.008	5.35	5.15
ISBTD16H-125	8.13	0.835	5.29	4.85
ISBTD19H-170	7.58	0.937	4.39	4.39
ISBTD25H-210	6.64	0.771	4.02	3.74

Table 8. Test results with embedment depth

실험체명	철근 직경 d , mm	문힘 길이 h_{ef} , mm	연단 거리 c , mm	최대 하중 N_{us} , kN	변위 d , mm
ISBTD10D- 50	10	50	300	11.5	5
ISBTD10D- 80	10	80	300	16.3	8
ISBTD10D-110	10	110	300	38.9	13
ISBTD13D- 50	13	50	300	14.4	7
ISBTD13D- 80	13	80	300	19.7	9
ISBTD13D-110	13	110	300	40.2	12
ISBTD16D- 50	16	50	300	22.5	10
ISBTD16D- 80	16	80	300	32.6	12
ISBTD16D-110	16	110	300	38.9	14
ISBTD16D-140	16	140	300	75.2	15
ISBTD16D-170	16	170	300	109.9	18
ISBTD19D- 50	19	50	300	16.2	13
ISBTD19D- 80	19	80	300	23.3	10
ISBTD19D-110	19	110	300	40.6	11
ISBTD19D-140	19	140	300	60.1	19
ISBTD19D-170	19	170	300	68.6	16
ISBTD19D-200	19	200	300	92.9	23
ISBTD25D- 50	25	50	300	19.7	7
ISBTD25D- 80	25	80	300	35.5	9
ISBTD25D-110	25	110	300	61.8	11
ISBTD25D-140	25	140	300	66.9	15
ISBTD25D-170	25	170	300	102.7	14
ISBTD25D-200	25	200	300	123.2	16
ISBTD25D-230	25	230	300	128.5	17

Table 9. Coefficient with depth

실제 앵커 문힘길이 제한	문힘길이 영향 계수
$h_{ef} \leq h_{act} \leq 2.0h_{ef}$	$0.49h_{act}/h_{ef}$

Table 10. Design strength with depth

호칭	D10	D13	D16	D19	D25
문힘길이(mm)	90	110	125	170	210
설계강도(kN)	8.4	12.0	16.8	24.5	33.9

Fig. 12. Bond strength with embedment depth

4.2.3 연단거리에 따른 부착력

표 11은 부착식 철근앵커의 연단거리에 따른 실험결과로서, ISBTDE실험체의 부착력은 연단거리에 비례하여 높게 나타났으며, 연단거리에 따른 철근앵커의 내력비교에서 평균값은 약 5.3% 상승하였고 연단거리에 비례하여 부착력($N_{u(test)}/N_{u(pre-dicted)}$)의 비는 다소 크게 나타났다. 그리고 연단거리에 따른 철근앵커의 내력은 앵커간격에 따른 내력 산정과 동일하게 단일앵커의 내력에 수평투영면적의 비를 곱함으로써 구할 수 있으며, CCD 설계기준에서는 철근앵커 내력이 연단거리가 작아짐에 따라 편차가 증가함을 고려하여 연단영향계수를 제시하고 있다. 본 연구에서는 연단거리에 따른 수평투영면적비와 연단거리에 따른 영향계수를 평가하기 위해 실험값을 기본형 실험체의 추천공칭강도의 비로 분석하였다. 표 12는 부

Table 11. Test results with edge distance

실험체명	철근 직경 d , mm	문힘 길이 h_{ef} , mm	연단 거리 c , mm	최대 하중 N_{us} , kN	변위 d , mm
ISBTD10E- 45	10	90	45	25.8	6
ISBTD10E- 65	10	90	65	28.5	7
ISBTD10E- 90	10	90	90	32.4	9
ISBTD13E- 65	13	110	65	48.5	8
ISBTD13E- 80	13	110	80	55.0	10
ISBTD13E-110	13	110	110	83.5	16
ISBTD16E- 65	16	125	65	83.1	13
ISBTD16E- 90	16	125	90	101.5	12
ISBTD16E-125	16	125	125	110.3	13
ISBTD19E- 90	19	170	90	101.6	14
ISBTD19E-125	19	170	125	106.1	15
ISBTD19E-140	19	170	140	112.6	19
ISBTD19E-170	19	170	170	124.1	18
ISBTD25E- 90	25	210	90	123.9	10
ISBTD25E-110	25	210	110	145.8	12
ISBTD25E-140	25	210	140	185.8	13
ISBTD25E-210	25	210	210	219.6	15

Table 12. Coefficient with edge

연단거리	D10	D13	D16	D19	D25
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

Fig. 13. Normal distribution with edge distance

Fig. 14. Normal distribution according to edge distance and influence coefficient

착식 철근앵커의 연단거리에 대한 영향계수로써, CCD 설계 기준에서 제안하고 있는 연단거리에 따른 영향계수가 필요함을 알 수 있다. 그림 13~14는 연단거리에 따른 영향계수인 수평투영면적비와 연단영향계수를 적용한 정규분포곡선으로 연단거리에 따른 영향계수인 수평투영면적비의 영향을 적용한 5% 파괴확률 값을 1.2로 평가되었다. 따라서 연단거리에 따른 영향계수인 수평투영면적비와 연단영향계수의 적용은 합리적이고 안전측임을 알 수 있다.

5. 결 론

비균열 무근콘크리트에 매입된 부착식 주입형 철근앵커의 부착력을 평가하기 위하여 앵커직경, 문힘길이 및 연단거리를 변수로 한 인발실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기본형 실험체의 부착응력은 약간의 편차는 있지만 표준 문힘길이에서 앵커직경의 크기에 비례하여 다소 낮게 나타났다. 선형회귀분석결과 직경 1 mm당 0.15 MPa 감소하는 것으로 나타났다. 비 균열 무근콘크리트에 매입된 부착식 주입형 철근앵커의 정규분포곡선의 특성을 이용하여 5% 파괴확률의 부착응력을 구한 고자 실험결과를 부착면적으로 무차원화 하여 히스토그램 및 확률밀도 곡선으로 나타낸 결과 평균 부착응력은 약 5.5 MPa로 나타났다.

- 2) 문힘길이에 따른 철근앵커의 부착력 비교시, 철근앵커의 부착력은 철근앵커의 실제 문힘길이가 표준 문힘길이 이하인 경우 평균값 이하로 떨어지는 것을 알 수 있으며, 실제 문힘길이가 작으면 작을수록 부착력은 낮게 나타났다. 실험결과를 정량적으로 평가하기 위해 선형회귀분석한 결과 실제 문힘길이가 표준 문힘길이의 0.1배 작아질수록 철근앵커의 부착력은 약 4.9% 낮게 나타났다. 따라서 철근앵커 시공시 표준 문힘이 이하는 철근앵커의 내력을 정량적으로 평가하여 적용하여야 할 것으로 사료된다.
- 3) 연단거리에 따른 철근앵커의 내력 비교에서 평균값은 약 5.3% 상승하였으며, 연단 거리에 비례하여 $N_{u(test)}/N_{no(predicted)}$ 는 크게 나타났다. 따라서 CCD 설계기준에서 제안하고 있는 연단거리에 따른 영향 계수인 수평투영면적비와 연단영향계수의 적용은 합리적으로 평가되었다. 또한 연단 거리에 따른 영향계수를 적용한 5% 파괴 확률 값을 1.2로 평가되었다. 따라서 연단 거리에 따른 영향계수인 수평투영면적비와 연단영향계수의 적용은 합리적이고 안전측임을 알 수 있다.

References

- ACICommittee318 (2008) Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI318M-08), American Concrete Institute, Detroit, Mich..
- ACICommittee355 (2007) Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete (ACI355.2-07), 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.
- Frigui, I. (1992) Tensile Capacity of Single Anchors in Concrete", *M.S. Thesis*, The University of Texas at Austin.
- Fuchs, W, Eligehausen, R. and Breen, J. (1995) Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, *ACI Structural Journal*, Vol. 92, No. 6, Nov-Dec, pp. 787-802.
- 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.
- KCI (2010) Design Method of Concrete Anchors, Method of Tension Test for Metallic Materials, KS B 0802.
- 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.

© Received April 30, 2012

© Revised May 4, 2012

© Accepted October 10, 2012