콘크리트의 동결융해와 앵커의 부식에 따른 후 설치 앵커시스템의 성능평가

An Performance Evaluation of the Post-installed Anchor System According to the Freezing and Thawing of Concrete and the Corrosion of Anchor

권민호¹⁾
Min-Ho Kwon

김진섭^{2)*}
Jin-Sup Kim

정우영³⁾
Woo-Young Jung

권상원⁴⁾
Sang-Won Kwon

Abstract

In this study, performance of the post-installed anchor system was evaluated with reduced strength of concrete and anchor. One of the post-installed anchors was selected to performance evaluation. Concrete strength was reduced by freeze-thawing test, and the post-installed anchor strength was reduced by corrosion test. The post-installed Anchor was installed in concrete of freezing and thawing and original concrete, and corroded anchor was installed in original concrete only. Anchor diameter and installation depth of the anchor were the variable for each specimen. Performance of post-installed anchor system of each specimen was evaluated by pullout test. Anchor diameter and installation depth of anchor, it may affect the performance of the post-installed anchor system from the experimental test results. Fracture mode of each post-installed anchor system had occurred differently depending on the durability of concrete and anchor. The anchor pullout strength from the experimental test results was used in order to compare with the results of CCD (Concrete Capacity Design) method, and CCD equation was modified. Modified equation was able to predict the anchor pullout strength of post-installed anchor system in Original concrete and freezing and thawing of concrete.

Keywords : Post-installed anchor, Freeze-thawing test, Corrosion, Pull-out test, Concrete, Set anchor, CCD method

1. 서론

최근 구조물의 복잡화 및 고도화됨에 따라 다양한 부재들 간에 연결고리 역할을 하는 앵커 시스템의 중요성이 커지고 있다. 특히 구조물을 정착시키거나 고정하는데 있어서 시공의 유연성 및 용이성으로 후설치 앵커가 폭 넓게 사용되고 있다. 그러나 후설치 앵커는 콘크리트 구조물에 동결융해 작용시 동해의 영향으로 인한 콘크리트 조직의 이완으로 앵커 시스템의 성능이 저하 되어 위험 요소로 작용할 수 있다. 또한 해양 환경에 건설되는 콘크리트 구조물은 해수에 존재하는 염소이온(Cl^-)이 콘크리트 내부에 침투해 열화현상을 가속화 시켜 철근의 부식과 같은 앵커체의 부식을 발생시킨다. 이로 인하여 철골구조물 또는 중량물을 지속적으로 고정시

키는데 앵커시스템은 어려움이 따를 것으로 사료된다 (Oh, 2009; Hwang et al., 2008). 현재 국내외에서는 앵커의 사용량이 현저히 증가하고 있다. 국외의 경우 그 유효성에 대한 인식이 널리 퍼져 있으며 앵커의 성능에 대한 연구가 많이 진행 되어진 상태이다. 미국은 ACI 349 (ACI Committee) 설계기준을 토대로, 유럽에서는 독일 등에서 제시한 CCD (Concrete Capacity Design) 설계방법이 있다. 국내의 경우 앵커에 대한 광범위한 연구가 진행되고 있지 못하며, 사용의 증가와 안전한 사용을 위하여 관련 연구가 절실한 실정이다 (Kim and Jee, 2005; Kim and You, 2004).

본 연구에서는 후 설치 앵커 (Post-installed Anchor)에 대하여 내구성이 감소된 콘크리트와 성능이 저하된 앵커체를 이용하여 각각의 성능을 평가하였다. 콘크리트의 내구성 감

1) 종신회원, 경상대학교 토목공학과 공학연구원 교수
2) 정회원, 경상대학교 토목공학과 박사과정, 교신저자
3) 정회원, 강릉원주대학교 토목공학과 부교수
4) 정회원, 경상대학교 토목공학과 석사과정

* Corresponding author : jskim7085@naver.com

• 본 논문에 대한 토의를 2013년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

소를 위하여 동결융해시험을 수행하였으며, 앵커체의 성능 감소를 위하여 앵커체 표면에 전기적 장치를 사용하여 부식 처리를 하였다. 앵커시스템의 성능평가를 위하여 인발 실험을 수행하였으며, 앵커시스템의 거동을 파악하고 인발강도를 측정하였다. 실험을 통한 후 설치 앵커의 실험결과와 EOTA (European Organization for Technical Approval)의 앵커설계에 대한 기준설계식인 CCD (Concrete Capacity Design) 방법에 의한 계산값을 비교 평가하였다. 연구 결과를 국내 앵커시스템의 설계에 대한 기초 자료로 활용하고, 새로운 설계식을 제안하고자 하였다.

2. 앵커 시스템

2.1 앵커의 종류

철근콘크리트 구조물에 대한 이음에서 콘크리트용 앵커 볼트의 사용은 매우 빈번하다. 일반적으로 콘크리트용 앵커는 설치시기에 따라 두 가지로 분류한다. 첫 번째는 콘크리트 타설 시 함께 설치하는 선 설치 앵커 (Cast-in-place anchor)와 콘크리트 구조물의 형성후 사용위치에 설치하는 후 설치 앵커 (Post-installed Anchor)로 분류된다 (KCI code, 2012). Fig. 1은 설치시기에 따른 앵커의 종류를 나타내고 있다. 대표적인 선 설치 앵커는 콘크리트와 강재 밀판 연결에 흔히 사용되는 헤드볼트, L형 갈고리볼트, J형 갈고리볼트 및 헤드 스톱트이다. 후 설치 앵커인 기계적 앵커 (Mechanical Anchor)는 콘크리트가 굳은 후에 구멍을 천공하고, 앵커를

Fig. 1 Type of Anchor

설치한 후에 앵커 단부를 확장시켜 앵커 단부와 콘크리트의 기계적 맞물림에 의한 앵커 성능을 발휘하는 확장 앵커 (Expansion Anchor)와 이와 유사하지만 특수한 천공 기구를 사용하여 구멍 하부를 크게 천공한 후 앵커를 설치하는 보다 신뢰성이 높은 언더컷 앵커 (Undercut Anchor)로 구분된다.

2.2 앵커의 파괴 거동

인장하중과 전단하중을 받는 앵커의 파괴는 Fig. 2와 같은 형태로 구분할 수 있다. 인장하중을 받는 앵커의 파괴양상에는 앵커파괴 (Steel Failure), 뽑힘파괴 (Pull-Out), 콘크리트 콘파괴 (Concrete Breakout), 콘크리트 쪼갬파괴 (Concrete Splitting)의 형태로 나타난다.

2.3 CCD (Concrete Capacity Design) 법

인발하중에서 CCD 설계방법은 파괴면과 콘크리트면의 사이가 35° 기울어져 파괴가 일어난다고 가정하고 있다. 인발하중 작용 시 연단거리의 영향이나 파괴면과 겹치는 부분이 없는 단일앵커의 콘크리트 콘파괴강도 (N_{no})는 식 (1)과 같다.

$$N_{no} = k_{nc} \sqrt{f_{cc}'} h_{ef}^{1.5} \quad (1)$$

여기서, N_{no} =콘크리트 파괴 강도 (N)

$k_{nc}=13.5$ (post-installed anchors)

$k_{nc}=15.5$ (cast-in-place anchors)

$f_{cc}'=200\text{mm}$ 정육면체로 측정된 콘크리트

Fig. 2 Failure mode of anchor

$$\begin{aligned}
& \text{압축강도 } (N/mm^2) \\
& f_{ck}=15 \times 30\text{cm 공시체의 콘크리트 압축강도} \\
& (N/mm^2) \\
& \sqrt{f_{cc}} = 1.18 \sqrt{f_{ck}} \\
& h_{ef}=\text{유효삽입깊이 (mm)}
\end{aligned}$$

연단거리 영향 또는 겹치는 파괴 콘에 따른 영향이 있을 경우, 콘크리트 파괴강도는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$N_n = \frac{A_N}{A_{NO}} \psi_2 N_{no} \quad (2)$$

여기서, N_{no} =콘크리트 파괴 강도 (N)

A_{NO} =앵커군의 이상화된 투영면적

A_N =연단거리 영향거리의 원인으로 발생하는
응력 분배 계수

$\psi_2=1$ (If, $c_1 \geq 1.5h_{ef}$)

$$=0.7 + 0.3 \frac{c_1}{1.5h_{ef}} \quad (\text{If, } c_1 \geq 1.5h_{ef})$$

여기서, c_1 =가까운 모서리의 연단거리

3. 앵커시스템의 성능 평가

앵커는 매립된 앵커의 정착에 의한 하중을 받는다. 이 하중은 인장이나 전단이 될 수 있으며 복합적으로 작용할 수도 있다. 본 연구에서는 앵커시스템과 콘크리트의 노후화, 환경에 의한 앵커부의 성능 저하에 따른 앵커시스템의 인발 성능을 평가하고자 하였다. 실험을 위하여 시험체 설계를 Table 1과 같이 구성하였다.

콘크리트와 앵커시스템의 내구성변화에 따른 성능평가를 위하여 앵커시스템이 설치된 시편에 대하여 동결융해 시험을 수행하였다. 앵커체의 성능 감소를 고려하기 위하여 앵커체 표면에 대하여 부식을 발생시킨 후 실험하였다. Fig. 3은 앵커 시험체의 제작과정을 나타내고 있다.

3.1 시험체 제작

단일 앵커의 콘크리트 콘 파괴강도 시 시험체에 사용된 콘크리트는 슬럼프 값 120mm, 설계기준 강도 24MPa인 레미콘을 사용하였으며, KS F 2403에 따라 제작한 공시체는 시

Table 1 Test Specimens

Specimen	Type	30% Torque (kN)	Installation Depth (mm)	Anchor Diameter
S1M10L50	Original	18.2	50	M10
S1M10L100		17.4	100	M10
S1M12L50		22.0	50	M12
S1M12L100		38.7	100	M12
S2M10L50	Freezing and Thawing	18.2	50	M10
S2M10L100		17.4	100	M10
S2M12L50		22.0	50	M12
S2M12L100		38.7	100	M12
S3M10L50	Corrosion	18.2	50	M10
S3M10L100		17.4	100	M10
S3M12L50		22.0	50	M12
S3M12L100		38.7	100	M12

Fig. 3 Manufacturing process of specimen

험체와 동일한 조건에서 28일 양생 시킨 후 콘크리트 압축강도를 시험한 결과 평균 압축강도가 24MPa으로 산출되었다 (Seo et al., 2006). 시험체는 비균열 무근 콘크리트로 ASTM E 488-96 (Reapproved, 2003)에서 제시한 시험체의 두께 ($1.5h_{ef}$)를 확보하기 위해 앵커 볼트의 규격에 따라 시험체 (1100×900×300mm)를 거푸집을 이용하여 타설하였다 (Kim et al., 2003).

본 연구에서는 후 설치 앵커 중 기계적 방식의 후 설치 앵커 (Set anchor)를 선정하였다. 기계적 방식의 후 설치 앵커의 제원은, 길이 200mm에 직경 9.45mm (M10)와 12.7mm (M12), 길이 150mm에 직경 9.45mm (M10)와 12.7mm (M12)인 4종류를 사용하였다. 시험 방법은, 콘크리트 시험체에 앵커설치를 위한 근입깊이 및 앵커직경에 따라 구멍 천공 후

앵커를 설치하였다. 설치 시 조임강도는 예비시편을 통한 최대 토크 (torque)의 30%를 조임강도로 선정하였다 (Kim et al., 2013).

3.2 콘크리트의 동결융해

급속동결융해시험에서 가장 널리 이용되는 것은 ASTM C 666 (Resistance of concrete rapid freezing and thawing)이다 (Oh, 2009). 국내에서는 KS F 2456 급속 동결융해 시험법이 이용된다. 이는 콘크리트 공시체의 중심온도가 오차범위 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 를 고려하고 동결시 -18°C , 융해시 $+4^{\circ}\text{C}$ 가 되도록 수증 또는 기중에서 동결융해의 반복 작용을 1사이클에 2~4시간 정도로 300사이클 이상 되도록 한다. 따라서 콘크리트 동결융해 실험을 위하여 Fig. 4와 같은 장비를 사용하였다.

콘크리트 시험체 내부에 온도센서를 삽입하여 제작하고, 콘크리트 시험체를 온도챔버에 넣어 동결융해 하였다. 온도 설정은 상한온도 $+4^{\circ}\text{C}$, 하한온도 -18°C 가 되도록 설정하였다. 콘크리트 시험체의 내부온도는 온도기록계 (TM-947SD)를 이용하여 5분 간격으로 저장 하였다. 일주일 동안의 온도 정보를 사용하여 Fig. 5와 같은 시간-온도 그래프를 나타내었다.

Fig. 5에 나타난 일주일간의 시간에 따른 온도변화를 살펴

Fig. 4 Chamber

Fig. 5 Cycle of Freezing and Thawing test

보면 1사이클에 약 4시간이 소요되었으며, 주기가 일정하게 반복적으로 유지된 것을 알 수 있다. 또한 동결융해 기준온도 범위를 초과하여, 오차범위가 1°C 에 근접해 있어 콘크리트의 동결융해가 잘 이루어 졌음을 알 수 있다. Table 2는 동결융해 전후의 콘크리트 시험체의 압축강도를 나타내고 있다. 압축강도는 시험체에서 직경 100mm의 코어를 3개씩 채취하여 강도를 측정하였다. 압축강도 시험결과 콘크리트의 강도가 약 20% 감소하였다.

3.3 앵커의 부식

앵커의 부식을 위해 염화나트륨 (NaCl)과 30V/5A의 직류 전원공급기를 이용하여 전위차를 통한 부식촉진법을 사용하였다. Fig. 6의 (a)는 5%의 염화나트륨의 수용액에 대상앵커를 침지시킨 후 직류전원공급기를 이용한 전위차 부식 과정을 나타내고 있다. 직류전원공급기의 (+)극은 앵커체에 연결시키고, (-)극에는 구리판을 연결하여 부식을 진행하였다 (Kim and Jee, 2005; Chung et al., 2004).

부식물은 ASTM-A615에 철근이 부식되어 녹으로 떨어져 나간 중량 (단면) 손실이 6% 미만일 경우는 사용상에 문제가 없는 것으로 나타나 있다. 따라서 앵커체의 부식을 6%까지 진행시키기 위해 부식이 진행되는 동안 주기적으로 대상

Table 2 Compression strength of concrete

Type	No.	Compressive Strength (MPa)
Original	1	26.4
	2	24.3
	3	22.6
	Average	24.4
Freezing and Thawing	1	17.5
	2	22.2
	3	18.9
	Average	19.5

(a) Corrosion method (b) Modified anchor

Fig. 6 Corrosion of anchor

앵커체의 중량을 측정하여 해당 부식률까지 계속 진행시켰다. Fig. 6(b)는 6% 부식이 완료된 앵커체를 나타내고 있다.

3.4 인발실험 방법

본 실험에서는 앵커 시스템의 성능을 평가하기 위하여 인발강도를 측정하였다. 실험을 위하여 콘크리트에 시험체 (1100×900×300mm)에 앵커의 삽입깊이와 직경에 따라 앵커 시스템을 각각 설치하였다. 콘크리트의 동결융해에 따른 앵커시스템의 성능을 평가하기 위하여, 시험체의 종류별로 동결융해 시험을 수행하였다. 앵커의 성능을 감소시키기 위하여 앵커체를 부식시켜 시험체를 구성하였다.

하중 가력은 Fig. 7(a)와 같은 하중 가력용 프레임을 사용하

(a) Loading Frame

(b) Test setup of anchor

(c) Servo motor

(d) Data logger system

Fig. 7 Test setup

였다. 하중 가력은 300kN 용량의 유압식 실린더 (TDC-3030)와 하중을 컨트롤을 위한 전동 서버 (Fig. 7(c))를 이용하였다. 하중 가력에 따라 발생하는 변위를 측정하기 위해 Fig. 7(b)와 같이 시험체 표면과 평행한 위치에 자동변위계 (LVDT)를 설치하여 변위를 측정하여 Fig. 7(d)와 같은 데이터 저장장치를 사용하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 인발 실험결과

앵커시스템의 인발 시험 결과를 Table 3에 정리하였다. 변수별 강도의 크기를 비교하기 위하여 Fig. 8과 같은 그래프를 사용하였다. 결과의 하중과 변위는 실험을 통하여 측정값의 평균값을 사용하였다. 측정은 기존의 연구를 참고하여 (Kim et al., 2013) 최대 하중이 발생될 때의 변위와 하중을

Table 3 Results of pull-out test

Specimen	Displacement (mm)	Load (ton)
S1M10L50	6.64	2.917
S1M10L100	13.16	4.427
S1M12L50	14.38	3.810
S1M12L100	18.64	9.437
S2M10L50	19.40	1.960
S2M10L100	29.92	3.160
S2M12L50	28.08	2.274
S2M12L100	23.37	6.004
S3M10L50	20.64	2.413
S3M10L100	35.72	1.504
S3M12L50	26.13	3.428
S3M12L100	23.62	1.411

Fig. 8 Distribution of Pull-out test results

기록하였다.

동결융해시킨 시험체와 부식을 시킨 앵커를 사용한 시험체의 인발성능은 일반 콘크리트와 일반 앵커를 사용한 일반 시험체의 인발성능보다 낮게 발생하였다. 하지만 최대강도 발생시 발생변위는 일반시험체 보다 크게 발생하였다.

동결융해에 따른 앵커시스템의 강도 감소를 검토하기 위하여, 일반 시험체와 동결융해 시험체의 인발실험결과를 삽입깊이와 직경에 따라 비교하였다. 동결융해 작용으로 인해 앵커의 인발성능이 SnM10L50의 경우 32.8%, SnM10L100의 경우 28.6%, SnM12L50의 경우 40.3%, SnM12L100의 경우 36.4% 감소 되었다. 이는 동결융해에 따른 콘크리트의 열화 현상으로 인한, 콘크리트의 강도 감소와 콘크리트와 앵커의 접촉면에서의 마찰력 감소로 앵커시스템의 인발하중이 감소한 것으로 생각된다. 이로 볼 때 동결융해 된 콘크리트는 앵커체와 Sleeve의 최대마찰력보다 Sleeve와 콘크리트와의 정착력이 낮아 앵커의 성능을 발휘하지 못한 것으로 생각된다. 콘크리트와 Sleeve의 미끄러짐이 일반 시험체보다 크게 발생한 것으로 생각된다.

앵커체의 부식에 따른 앵커시스템의 강도 감소 영향을 검토하였다. 일반 시험체와, 부식 된 앵커를 사용한 실험체의 실험결과를 삽입깊이와 직경에 따라 비교하였다. 부식 된 앵커의 인발성능은 일반앵커를 사용한 시험체와 비교하여, SnM10L50의 경우 17.3%, SnM10L100의 경우 66.0%, SnM12L50의 경우 10.0%, SnM12L100의 경우 85.0% 감소 되었다. 이는 부식 된 앵커체의 단면감소로 앵커체와 Sleeve의 마찰력이 저하 되어 인발시 성능이 저하 되는 것으로 나타났다. 또한 삽입깊이가 100mm인 SnM10L100과 SnM12L100의 부식앵커의 경우, 부식앵커의 단면감소에서 Sleeve의 길이가 긴 앵커는 강재와의 마찰력이 더 저하되어 인발시험시 앵커체의 뽑힘이 발생하였다.

앵커시스템에 인발 하중 작용 시 동결융해된 시험체와 부식 된 앵커를 사용한 시험체의 경우 일반 시험체보다 낮은 인발강도를 나타내고 있다. 앵커시스템의 장기 사용 및 앵커체의 품질관리가 중요할 것으로 생각된다.

4.2 기존 인발내력 설계식과 수정식 비교

일반 콘크리트를 사용한 시험체와 동결융해된 콘크리트 시험체의 앵커시스템의 인발하중을 실험값과 CCD식의 계산값을 통해 비교하였다.

Table 4는 일반 앵커의 직경, 삽입깊이에 따른 인발하중의

실험값과 계산값을 비교한 것이다. 기존의 CCD 식에서 콘크리트 콘 파괴 하중 (식 (1))은 삽입 깊이, 앵커의 직경 및 콘크리트 강도를 포함하는 식으로 표현된다. Table 4에서 실험값 (1), 앵커의 삽입깊이에 따른 CCD의 계산값 (2), 앵커의 직경과 삽입깊이를 모두 고려하는 수정식 계산값 (3)을 정리하였다. 기존의 파괴 하중 식에서 콘크리트 강도는 모두 동일한 지수값 0.5를 제안하고 있다. 또한 CCD 방법에서 근 입 깊이에 대한 지수 값은 1.5로 제시하고 있다. 그러나 SIM12L100의 경우 CCD식은 앵커의 성능을 과대평가 하는

(a) Original concrete + Original anchor

(b) Freezing and Thawing Concrete + Original Set Anchor

(c) Original concrete + Corrosion anchor

Fig. 9 Failure mode of anchor system

Table 4 Distribution of numerical results

Type	Specimen	Experiment (ton)	CCD (ton)	Modified CCD (ton)	Ditribution	
		(1)	(2)	(3)	(1)/(2)	(1)/(3)
Original Specimen	S1M10L50	2.960	2.813	1.962	1.052	1.509
	S1M10L50	2.940	2.813	1.962	1.045	1.498
	S1M10L50	2.850	2.813	1.962	1.013	1.453
	Average	2.917			1.037	1.487
	S1M10L100	4.410	7.955	4.831	0.554	0.913
	S1M10L100	4.980	7.955	4.831	0.626	1.031
	S1M10L100	3.890	7.955	4.831	0.489	0.805
	Average	4.427			0.556	0.916
	S1M12L50	3.330	2.813	2.082	1.184	1.599
	S1M12L50	4.290	2.813	2.082	1.525	2.061
	S1M12L50	3.800	2.813	2.082	1.351	1.825
	Average	3.810			1.355	1.830
	S1M12L100	9.500	7.955	5.126	1.194	1.853
	S1M12L100	9.440	7.955	5.126	1.187	1.842
	S1M12L100	9.370	7.955	5.126	1.178	1.828
	Average	9.437			1.186	1.841
Freezing and Thawing Specimen	S2M10L50	1.578	2.813	1.445	0.561	1.092
	S2M10L50	2.425	2.813	1.445	0.862	1.678
	S2M10L50	1.876	2.813	1.445	0.667	1.298
	Average	1.960			0.697	1.356
	S2M10L100	3.309	7.955	3.097	0.416	1.068
	S2M10L100	2.946	7.955	3.097	0.370	0.951
	S2M10L100	3.226	7.955	3.097	0.406	1.042
	Average	3.160			0.397	1.020
	S2M12L50	1.964	2.813	1.626	0.698	1.208
	S2M12L50	2.113	2.813	1.626	0.751	1.300
	S2M12L50	2.746	2.813	1.626	0.976	1.689
	Average	2.274			0.808	1.399
	S2M12L100	5.529	7.955	3.485	0.695	1.587
	S2M12L100	7.140	7.955	3.485	0.898	2.049
	S2M12L100	5.343	7.955	3.485	0.672	1.533
	Average	6.004			0.755	1.723

경향을 나타내었다. 이는 CCD식에서 앵커의 직경이 고려되지 않고 삽입깊이의 영향이 결과값에 지배적으로 작용하기 때문이다. 따라서 앵커의 직경과 삽입깊이비에 지수 값 0.2를 사용한 식 (3)을 이용하였다.

$$N_n = 13.5 \sqrt{fc'} h_{ef}^{1.5} \left(\frac{2d_0}{h_{ef}} \right)^{0.2} (N) \quad (3)$$

실험값과 수정식을 이용한 계산값의 비를 Table 4에서 (1)/(3)에 나타내었다.

Table 4는 동결융해 콘크리트의 앵커 직경, 관입깊이에 따른 실험값과 계산값을 비교한 것이다. 삽입깊이를 고려하는 CCD식의 경우 모든 계산값이 실험값보다 과대평가 되고 있어 동결융해에 따른 콘크리트 강도 감소계수 0.8을 사용하고 앵커의 직경을 고려하였다. 또한 앵커의 직경과 삽입깊이비에 지수 값 0.4를 사용하여 다음과 같이 식 (4)로 나타내었다.

$$N_n = 13.5 \sqrt{0.8fc'} h_{ef}^{1.5} \left(\frac{2d_0}{h_{ef}} \right)^{0.4} (N) \quad (4)$$

식 (4)를 이용한 실험값과 수정식을 비교한 계산값의 비율 Table 4의 (1)/(3)에 나타내었다. 그 결과 모두 CCD식의 과대평가가 수정되어 동결융해로 인한 콘크리트 강도저하의 영향에 따른 앵커의 인발하중을 고려할 수 있게 하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 비 균열 콘크리트에 설치된 후 설치 앵커의 인발 성능을 평가하였다. 콘크리트의 동결융해와 앵커체의 부식에 대한 인발 내력을 평가 하여 콘크리트와 앵커의 변화에 따른 인발 내력을 평가하였다. 일반 및 동결융해 콘크리트에 설치된 앵커의 인발내력에 대한 CCD식을 평가하여 새로운 제안식을 제시하였다. 본 논문의 결론은 다음과 같다.

- (1) 후 설치 앵커는 앵커의 직경이 크고, 근입 깊이가 깊을 수록 인발강도가 크게 발생한다.
- (2) 동결융해 시험으로 콘크리트의 압축강도가 약 20% 감소한다.
- (3) 앵커시스템의 인발강도는 일반 시험체와 비교하여 동결융해 시험체와, 앵커체 부식 시험체 모두 감소한다.
- (4) 동결융해와 앵커체의 부식으로 앵커시스템의 인발강도 및 파괴 형태가 변화 된다. 일반 시험체의 경우 앵커의 콘 파괴 및 뿔힘파괴가 발생하였고, 동결융해 시험체에서는 콘크리트 뿔힘파괴가, 부식된 앵커체 사용한 시험체에서는 앵커의 콘크리트 뿔힘파괴가 지배적으로 발생하였다.
- (5) 실험결과를 바탕으로 CCD식을 수정하였으며, 수정된 식을 사용하여 후 설치 앵커 시스템의 인발강도에 대한 안전율이 증가된 설계가 가능하다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2012R1A2A1A03670626).

References

1. ACI Committee 349, "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures (ACI 349-90)", American Concrete Institute, Detroit.
2. Chung, L., Won, J. H., Cho, S. H., "Structural Performance of Reinforced Concrete Columns due to Corroded Main and Hoop Bars", Architectural Institute of Korea, Vol. 20, No. 3, 2004, pp.3-10 (in Korean).
3. Hwang, H. J., Park, D. C., Oh, S. G., "Durability Life Prediction of Concrete Subjected to Freezing-Thawing and Chloride Attack", The Korea Institute of Building Construction, Vol. 8, No. 2, 2008, pp.97-101 (in Korean).
4. Kim, H. U., Jee, N. Y., "Effect of the Rebar Corrosion Rate on Bond Strength in Reinforced Concrete - factors caused by compressive strength and embedded rebar condition", Architectural Institute of Korea, Vol. 21, No. 11, 2005, pp.159-166 (in Korean).
5. Kim, J. S., Kwon, M. H., Seo, H. S., Park, J. H., "Performance Evaluation and Analysis Model for the Post-Installed Anchor", Journal of KOSHAM, Vol. 13, No. 2, Apr. 2013, pp.089-095 (in Korean).
6. Kim, S. Y., Seo, S. Y., Kim, K. S., "Tensile Strength of Expansion Anchors installed in Uncracked and Unreinforced Concrete", Architectural Institute of Korea, Vol. 19, No. 11, 2003, pp.83-92 (in Korean).
7. Kim, Y. H., You, S. G., "Evaluation and Application of Pullout Strength of Single Anchor in Plain Concrete According to Edge Distance", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, Vol. 8, No. 1, 2004, pp.211-220 (in Korean).
8. Oh, S. G., "The Change of Chloride Attack Resistibility of Concrete Damaged Due to Freezing-Thawing", Architectural Institute of Korea, Vol. 25, No. 4, 2009, pp.169-176.
9. Seo, S. Y., Yoon, S. J., Kim, S. S., Yoon, Y. D., "An Experimental Study on the Pull-out Strength of Post-Installed Anchor Bolt", The Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol. 2, No. 1, 2006, pp.359-362 (in Korean).
10. Summary of the KCI code, the Korea Concrete Institute, 2012.

Received : 03/12/2013

Revised : 05/07/2013

Accepted : 05/13/2013

요 지

본 연구에서는 콘크리트 강도와 앵커의 강도 변화에 따른 앵커시스템의 성능을 평가하였다. 성능평가를 위하여 후 설치 앵커의 한 종류인 Set Anchor를 선정하였다. 동결융해 시험을 통하여 콘크리트의 강도를 감소시켰고, 부식을 통하여 앵커의 강도 감소를 고려하였다. 설치 앵커인 Set Anchor를 동결융해 된 콘크리트와 일반 앵커를 설치하고, 일반 콘크리트에 부식된 앵커를 설치하여 콘크리트 내력에 따른 인발 내력을 고찰 하였다. 각 시험체별로 앵커의 직경, 앵커의 근입 깊이를 변수로 설정하였다. 실험결과 인발 하중을 받는 경우에는 앵커의 직경 및 근입 깊이에 영향이 있는 것으로 나타났다. 인발 실험시 콘크리트 콘 파괴 및 뽑힘파괴 등 콘크리트와 앵커의 내구성에 따라 파괴모드가 다르게 발생하였다. 또한 앵커의 인발 내력을 CCD (Concrete Capacity Design)방법을 사용한 결과와 비교 평가하여 새로운 수정식을 제안하였으며, 수정식을 사용하여 일반 및 동결융해 콘크리트에 설치된 앵커의 인발 내력을 예측 할 수 있었다.

핵심 용어 : 후 설치 앵커, 동결 융해 시험, 부식, 인발실험, 콘크리트, 셋 앵커, CCD 법.