후 설치 앵커 성능평가와 해석모델

Performance Evaluation and Analysis Model for the Post-Installed Anchor

김진섭* · 권민호** · 서현수*** · 박재훈****

Kim Jin-Sup · Kwon Min-Ho · Seo Hyun-Su · Park Jae-Hun

Abstract

The post-installed anchors were installed in non-cracked concrete. And then pullout and shear strength of the anchor were investigated. The test of pullout and shear was conducted torque, diameter and insertion depth of the anchor. If it subjected to pullout load, the performance of it was affected by torque, diameter and insertion of anchor. If it subjected to shear load, the performance of it was affected by diameter and insertion of anchor, but torque was less affected. In failure mode of pull-out test, steel failure of the anchor and concrete cone failure occur. And shear failure mode, most of the tests showed shear failure of the anchor. A commercially available finite element program, ABAQUS, is used in this study, and then the behavior of pull-out of anchor were analyzed. When the interpretation of the available anchor system are derived for finite element modeling of concrete structure, interpreted the resulted with the installation of a target anchor for a relatively accurate prediction was possible.

Key words : Post-installed anchor, Pull-out and shear test, Torque, Insertion depth, ABAQUS

요 지

후 설치 앵커인 Set Anchor를 비 균열 콘크리트에 설치하여 앵커의 인발 및 전단 내력에 대하여 고찰 하였다. Torque, 앵커의 직경, 앵커의 삽입 깊이의 변수를 두어 인발 및 전단 실험을 진행 하였으며 인발 하중을 받는 경우에는 Torque, 앵커의 직경 및 삽입 깊이에 영향을 받는 것으로 나타났으며 전단 하중을 받는 경우에는 앵커의 직경 및 삽입 깊이에 영향이 있으나 Torque의 크기에는 영향이 적은 것으로 나타났다. 본 실험에서 앵커와 모재인 콘크리트의 파괴모드는 인발 실험인 경우 앵커 강재 파괴 및 콘크리트 콘 파괴가 발생 하였으며 전단 실험인 경우에는 대부분의 실험에서 앵커의 전단 파괴가 나타났다. 앵커의 인발 내력을 범용 구조해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 앵커시스템의 해석 시 사용가능한 유한요소 모델링을 도출하여 해석한 결과 콘크리트 구조물에 후 설치 앵커를 사용한 해석대상에 대하여 비교적 정확한 예측이 가능한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 후설치 앵커, 앵커 인발 및 전단 실험, ABAQUS

1. 서 론

국토 이용의 고도화와 생활수준의 향상으로 사회 기반 시설에 대한 안전 기대치가 급속히 증가 하였으나 안전 기대치의 증가와 별개로 사회 기반은 과거의 상태로 사용하고 있다. 이러한 기존의 시설의 재해에 대비한 유지 관리 차원의 일상적인 점검과 위협에 대한 인식이 부족한 상태이다. 그리고 콘크리트 구조물이 보다 복잡해지고 고도화에 됨에 따라 여러 부재를 다양한 방법으로 연결하여 시공하는 경우가 많아

져 필연적으로 이들 부재를 연결하는 방법에 대한 관심이 집중되고 있다. 따라서 앵커를 이용하여 연결하는 방법에 대한 관심 또한 집중되고 있다.

후 설치 앵커 시스템은 구조물의 정착부에 적용 되어 많은 기기나 철골 구조 등을 고정하여 지지하기 위하여 사용된다. 이와 같은 앵커 시스템은 복합 하중에 저항하며, 특히 콘크리트는 외부의 하중이나 내부에서 발생하는 열로 인한 팽창, 그리고 건조 수축 등으로 인한 균열로 인해 발생 가능한 후 설치 앵커 시스템의 정착부의 파괴 거동은 경우에 따라 구조

*정회원. 경상대학교 토목공학과 박사과정(E-mail: jskim0330@gmail.com)

Member. Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University

**교신저자. 정회원. 경상대학교 토목공학과 공학연구원 교수(Tel: +82-55-772-1796, Fax: +82-55-772-1799, E-mail: kwonm@gnu.ac.kr)

Corresponding Author. Member. Professor, Department of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University

***정회원. 경상대학교 토목공학과 박사과정

Member. Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University

****경상대학교 토목공학과 석사

Master, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University

물 전체의 안전에 영향을 미치게 된다. 따라서 콘크리트에 정착된 후 설치 앵커 시스템의 거동에 대한 이해는 안전하고 합리적인 설계를 위해 매우 중요하다. 따라서 많은 실험적 연구가 미국과 유럽 등에서 활발히 진행되어 왔다. ACI (1978)에 의해 앵커부의 콘크리트 인장강도를 기초로 하여 파괴가 원추형 투영면을 따라 발생한다고 가정하여 앵커시스템의 저항능력에 대한 산정법이 제시되었다(ACI 349, 1987; ACI 446, 1995; ACI 349, 2000). 그 후 기존의 설계식에 보정계수들을 도입하여 시편의 크기효과를 설계식에 반영한 개선시도가 Jensen and Braestrup(1976)에 의해 있었다. 최근에 제시된 CCD(concrete capacity design)이론은 유럽과 미국 등에서 수행된 수많은 실험결과를 분석하여 콘크리트 파괴에 초점을 맞추어 체계화시킨 설계방법이다. 하지만 국내에서는 후 설치 앵커의 인발 하중 및 전단 하중 복합 하중 등에 적용된 앵커 시스템에 대한 연구가 많이 부족한 실정이다. 따라서 앵커의 성능 평가 및 거동 특성 예측을 위해 논문에서는 조임 Torque, 앵커의 직경 및 삽입 깊이 등 여러 가지 변수를 두어 앵커의 인발 및 저단 성능 평가 실험으로 거동 특성을 도출하였다. 그리고 이러한 앵커와 콘크리트 파괴거동을 모사할 수 있도록 범용 구조해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 해석적 모델 및 매개변수를 결정하고 앵커 시스템 해석에 적용 가능 하도록 하였다.

2. 앵커 시스템

2.1 앵커의 종류

부착물에 가해지는 하중은 마찰력, 기계적 잠금장치, 부착 또는 이들의 복합 요소에 의해 앵커로 전달되며 가시 앵커를 통해 콘크리트 구조물에 전달된다. 앵커의 하중 전달 메커니즘은 이러한 여러 요소의 특징에 따라 결정된다.

모든 앵커는 Fig. 1과 같이 크게 두 가지, 현장타설 앵커(Cast-in-place Anchor)와 후 설치 앵커(Post-installed Anchor)로 분류할 수 있으며, 기본적인 하중 전달 메커니즘에 따라 상세히 분류할 수 있다(Son, 2002).

현재 국내외에서는 앵커의 사용량이 현저히 증가하고 있다. 국외의 경우 그 유효성에 대한 인식이 널리 퍼져 있으며 이에 대한 설계 방법의 연구가 많이 진행되어진 상태이다. 미국은 ACI 349-85설계기준을 토대로, 유럽에서는 독일 등에서 제시한 CCD(Concrete Capacity Design)(Fuchs et al., 1995) 설계방법이 있으나, 국내의 경우 이러한 연구가 미진한 실정이며 이에 대한 연구가 절실한 실정이다.

Fig. 1. Variety of Anchors

Fig. 2. Failure Mechanism for Post-installed Anchor Systems of Tensile and Shear

2.2 앵커의 파괴 거동

인장하중을 받는 앵커의 파괴양상은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 앵커 강재 파괴, 인발 파괴(pull-out), 콘크리트 콘 파괴(concrete cone failure), 할렬파괴(splitting) 등의 형태로 나타난다.

전단하중을 받는 앵커의 파괴양상은 Fig. 2(Hwang, 2011)와 같이 앵커의 강재파괴, 콘크리트 들림(pryout)파괴, 콘크리트 파열파괴 등의 형태로 나타나며, 앵커의 전단 강도, 연단 거리와 인접앵커의 영향 여부에 따라 다양한 파괴 형태를 보여준다.

3. 유한요소

3.1 해석 모델

3.1.1 콘크리트 비선형 재료 모델

콘크리트의 솔리드 요소에 적용시킨 구성 모델은 압축과 압축 상태의 콘크리트의 파괴 거동을 알 수 있는 콘크리트 손상 소성모델(Concrete Damaged Plasticity Model)을 사용하였다. 이 모델은 손상-소성 구성모델로 Lubliner et al. (1989)에 의해서 처음 제안되었고 Lee와 Fenves (1998)에 의해서 개선된 모델이다. 이 모델은 콘크리트의 손상 거동을 예측하는데 적합한 모델로 구속압력상태의 인장강화, 압축연

Fig. 3. Concrete Material Nonlinear Model

Fig. 4. Steel Material Nonlinear Model

화, 강성손상과 소성팽창의 특성을 포함하고 있다(Fig. 3). 그리고, 인장연화 모델을 fracture energy 기반으로 한 stress-displacement로 모델하여 요소크기에 대한 민감성을 제거하였다. 그리고 요소 모델은 20절점 3D 솔리드 모델을 사용하였으며, reduced integration으로 전단잠김현상을 제거하였다(Kwon et al., 1999; Kwon et al., 2003).

3.1.2 강재 비선형 재료모델

강재의 구성모델은 Fig. 4와 같이 강재의 비선형을 고려하여 해석을 실시하였다.

4. 앵커 성능 평가

앵커는 우선 매립된 앵커의 부착에 의한 하중을 받는다. 이 하중은 인장이나 전단이 될 수 있다. 혹은 두 힘이 복합적으로 작용할 수도 있다. 본 실험에서는 균열이 발생하지 않은 콘크리트에서의 앵커의 인발 및 전단의 거동을 분석한다.

4.1 실험 방법

하중과 변위 측정 장치는 연속적인 하중 대 변위 곡선을 산출하기 위하여 적어도 2초당 한 번씩 데이터 포인트를 측정할 수 있어야 한다. 또한 기록은 최대하중에 도달하기전의

Fig. 5. Test Specimens of Plain Concrete Systems

기록이 명확하여야 한다, 치짐 또는 앵커 파괴 또는 구조적 부재에 의해서 실험하는 동안에 영향을 받지 않는 장비의 포인트에 대하여 앵커의 수직 이동 수평이동을 측정할 수 있어야 한다. 앵커의 축에 수직이나 평행하게 전단 인장 하중을 측정할 수 있게 하였다.

인장, 전단에 대해서 적당한 시스템의 예는 Fig. 6와 같다. 앵커 실험을 위해 요구되는 변위 측정은 LVDT를 이용하여 변위를 측정한다. 변위 측정 장치는 치짐 또는 앵커 파괴 또는 구조적 부재에 의해서 실험하는 동안에 영향을 받지 않는 장비의 포인트에 대하여 앵커의 수직 이동을 측정할 수 있어야 한다. 그러므로 LVDT의 고정점은 강재 지거에 고정하였으며 앵커의 슬립 이동량이 측정되어야 하므로 앵커 강재의 늘임량을 배재하기 위하여 콘크리트 면과 맞닿은 앵커 너트에서 변위점을 측정하도록 하였다. 본 논문에서는 무근콘크리트에 Fig. 6와 같이 천공 후, 앵커를 근입 깊이 및 앵커의 직경, 앵커에 가해지는 Torque별로 앵커를 설치한 후 복동식 유압 플링재과 하중을 컨트롤 할 수 있는 서버를 이용하여 앵커볼트의 인장 강도를 측정한다. 앵커에 자동변위계(LVDT)를 설치 하여 변위를 측정하고, 측정된 데이터는 데이터 로거로 기록 및 저장 하였다.

Fig. 6. Test Setup for Post-Installed Anchor Systems

Table 1. Test Specimens and Parameters

Specimen	Torque	Install Depth (mm)	Anchor Type	Number of Specimens
S3M0L5	30%	50	M10	×3
S5M0L5	50%	50	M10	×3
S7M0L5	70%	50	M10	×3
S3M0L10	30%	100	M10	×3
S5M0L10	50%	100	M10	×3
S7M0L10	70%	100	M10	×3
S3M2L5	30%	50	M12	×3
S5M2L5	50%	50	M12	×3
S7M2L5	70%	50	M12	×3
S3M2L10	30%	100	M12	×3
S5M2L10	50%	100	M12	×3
S7M2L10	70%	100	M12	×3

Table 2. Torque Parameters

Install Depth (mm)	Anchor Type	100% (kN)	70% (kN)	50% (kN)	30% (kN)
50	M10	60.7	42.5	30.4	18.2
100	M10	58.1	40.7	29.1	17.4
50	M12	73.2	51.2	36.6	22.0
100	M12	129	90.3	64.5	38.7

4.2 실험체

본 논문에서의 M10, M12 Set Anchor는 현장조사를 통하여 실 시공시 가장 일반적으로 사용되어지고 있는 Set Anchor 치수를 선정하였다. 길이 200 mm에 직경 9.45 mm(M10)와 12.7 mm(M12), 길이 150 mm, 직경 9.45 mm(M10)와 12.7 mm(M12) 앵커를 사용하였다.

실험체는 Fig. 5와 같이 균열이 발생하지 않은 무근 콘크리트(900×1100×300)강도 24 Mpa를 제작하여 실험을 진행하였다.

4.3 실험 변수

앵커의 종류에 따른 실험을 위하여 Set Anchor는 Torque 치에 따른 근입 깊이 및 앵커직경 종류별 변수에 따른 실험을 실시하였다. 변수하나당 3개의 동일한 시험 체를 제작하여 시험을 실시하였다. 여기서 Torque치는 시험체(무근콘크리트)를 천공 후 앵커를 설치할 때 조임을 나타내는 힘을 말하며 Torque치 전체 힘의 30~70%의 힘에 따른 값을 선정하여 일정하게 앵커의 조임 힘을 선정하였다. 따라서 앵커의 성능을 평가에 Torque의 변수를 더해서 시험을 하여 Torque의 변화에 대한 앵커의 거동을 비교분석하고자 하였다.

Torque변수 설정은 실험을 통하여 Table 2와 같이 설정하여 실험을 하였다.

5. 실험 및 유한 요소 해석 결과

5.1 인발 실험 결과

다음은 Set Anchor의 인발 시험을 정리한 결과는 다음 Fig. 7과 Table 3과 같다. Fig. 7에서 수직축은 Table 3에서 나타내고 있는 하중 값이다.

여기서 하중은 동일한 시편 3개의 측정값에 대한 평균값을 나타내고, 변위는 최대 하중이 발생될 때의 변위로써 앵커의 성능이 발휘되고 있을 때까지의 변위를 나타내고 있다.

SnM2L5인 경우에는 다른 실험들과 달리 다소 큰 편차를 보이는 등 하중의 패턴의 차이를 보인다. SnM2L5의 실험에서는 앵커의 부착효과가 발생하지 못하고 앵커가 뺄힘이 발생하여 이러한 패턴차이를 보인 것으로 생각된다.

SnM0L5의 실험을 제외하고 다른 두 실험에서는 Torque 30% 일 때 하중이 가장 크게 나타났다. 이로 볼 때 조여짐이 약하므로 앵커와 콘크리트 사이가 완전부착이 이루어지지 못했던 부분이 하중이 증가하면서 부착효과가 나타났고 Torque가 커지면서 부착 효과가 빠르게 일어나면서 콘크리트에 가해지는 힘이 빠르게 나타나면서 Torque가 적을 경우보다

Fig. 7. Anchor Capacity Characteristics for Pull-out Tests

Table 3. Test Result of Pull-out Tests

Specimen	Displacement (mm)	Load (ton)
S3M0L5	7.168	2.863
S5M0L5	9.611	2.853
S7M0L5	4.604	2.891
S3M0L10	13.156	4.427
S5M0L10	37.682	4.387
S7M0L10	59.347	3.605
S3M2L5	15.032	2.543
S5M2L5	30.088	1.163
S7M2L5	8.893	3.663
S3M2L10	18.643	9.437
S5M2L10	25.085	8.977
S7M2L10	24.213	9.093

하중이 Table 3과 같이 감소함이 나타났다. Torque가 커지면 최대 마찰각에 도달하는 시간이 짧아짐으로 슬립이 발생되어 하중이 Torque가 작은 경우보다 적게 나타난 것으로 보인다.

즉, SnM2L5인 경우를 제외하면 Torque가 증가하면 나타나는 하중 값이 적게 나타났다.

5.2 전단 실험 결과

다음은 Set Anchor의 전단 실험을 정리한 결과는 다음 Fig. 8과 Table 4과 같다. Fig. 8에서 수직축은 Table 4에서 나타내고 있는 하중 값이다.

여기서 하중은 인발 실험과 마찬가지로 동일한 시편 3개의 측정값에 대한 평균값을 나타내고, 변위는 최대하중이 발생될 때의 변위로써 앵커의 성능이 발휘되고 있을 때까지의 변위를 나타내고 있다.

변위의 크기는 대체로 앵커의 직경이 클수록 커지지만 삽입 깊이에 따라서는 그 반대로 작아지는 것으로 나타났다. 이는 삽입 깊이가 깊을수록 정착효과가 커지므로 전단 실험시 콘크리트 파괴가 적어지고 앵커 강재로 인한 변위만이 좌우하는 것으로 나타났다.

결과를 살펴보면, SnM2L5일 경우를 제외하고 모든 실험에서 하중의 순서가 Torque 70, 50, 30% 순으로 나타났다. 즉, 전단의 실험에서는 Torque가 커질수록 하중이 증가하지만 그 증가치가 미비하여 전단의 경우에는 Torque의 영향이 적어 Torque를 증가할 필요성이 없는 것으로 나타났다.

Fig. 8. Anchor Capacity Characteristics for Shear Tests

Table 4. Test Result of Shears Tests

Specimen	Displacement (mm)	Load (ton)
S3M0L5	27.319	3.267
S5M0L5	18.713	3.357
S7M0L5	22.786	3.783
S3M0L10	19.999	3.841
S5M0L10	18.527	3.833
S7M0L10	18.461	3.895
S3M2L5	34.922	5.278
S5M2L5	39.123	4.822
S7M2L5	35.923	4.921
S3M2L10	20.933	5.624
S5M2L10	21.554	5.621
S7M2L10	46.023	5.678

SnM2L5의 경우에는 실험에서 Torque가 큰 경우에는 콘크리트 들림 파괴가 발생하였으며 다른 실험에서 발생된 앵커의 강재 파괴와는 차이가 나타나 차이를 보였다.

5.3 유한 요소 해석

5.3.1 유한요소 모델링

콘크리트와 앵커의 인발 거동을 고려하여 해석을 범용 구조 해석 프로그램은 ABAQUS를 이용하여 해석을 수행하였다

Fig. 9. 3D Finite Element Model of Structural System and Anchor System

Table 5. Concrete and Anchor Material Parameter

	Young's Modulus	Poisson's ratio
Concrete	23025 MPa	0.25
Steel	200000 MPa	0.3

다. 앵커의 인장 강도 500 MPa 콘크리트 강도 24 MPa를 사용하였다. 각각의 물성치는 Tabel 5와 같다(콘크리트구조설계기준 2003). 매립 깊이 50 mm, 100 mm인 앵커와 콘크리트를 모델링 하였다, 앵커 및 콘크리트 모델링은 Fig. 9과 같다. 그리고 앵커를 실험과 동일한 환경을 만들기 위해 콘크리트 중앙 부분에 삽입 하였다. 실제 실험에서 앵커와 콘크리트의 마찰이나 컨택을 고려하여 해석을 수행 시 컨택 조건을 soft contact으로 하여 pressure값과 clearance값을 각 케이스 별로 찾아서 해석을 수행하였다.

5.3.2 매개변수

해석 시 contact 조건을 soft contact으로 하여 해석을 진행하였다. Torque의 효과를 나타내기 위해서 각 케이스별로 clearance 값을 조정하면서 해석을 하였다. 이때 pressure의 값은 incompatibility error의 적정성 유지와 접촉면의 pressure를 유지하기 위해 10으로 고정된 후 해석을 진행하였다.

ABAQUS 해석을 수행 시 앵커 인발에 대한 매개변수들

Table 6. Interaction Property of FE Model

Specimen	C-S Friction	S-S Friction	Pressure	Clearance
S3M0L5	0.375	0.525	10	0.0001/0.0005
S5M0L5	0.3	0.45		0.001
S7M0L5	0.45	0.6		0.01/0.0005
S3M0L10	0.45	0.7		0.00001/0.00005
S5M0L10	0.3	0.45		0.001
S7M0L10	0.2	0.35		0.001

Fig. 10. Stress Distribution of the Systems Using FE Model and Concrete Failure Mode

찾기 위해 수많은 반복 해석을 통해 콘크리트와 볼트 슬리브와의 마찰과 볼트와 슬리브의 마찰 그리고 soft contact에서 pressure 값 및 clearance 값을 결정하였다, Table 6과 같이 매개 변수의 값을 결정하여 해석한 결과 Fig. 11과 같은 결과가 나타났다.

5.3.3 유한요소 해석 결과

앵커 콘크리트에서의 응력 분포를 나타낸 것이다. 앵커의 응력 변화에 비해 콘크리트 기초부의 응력 변화는 거의 없지만 앵커 형상이 변하는 곳이나 앵커와의 접촉면에서 응력이 집중되는 것을 발견할 수 있다.

유한요소 결과와 실험 결과를 비교한 결과 실험에서는 콘크리트 콘 파괴 형상에서 콘의 지름이 150 mm~300 mm 정도로 측정되었다. 이에 비하여 유한요소 해석에서는 콘크리트 균열의 크기가 지름 200 mm~250 mm 정도로 해석되었다. 실험의 변위 하중 그래프와 유한요소 해석으로 나온 변위 하중을 비교한 결과 Fig. 11과 같다. 여기서 실험 그래프는 각 시편에 대한 거동의 변화를 대표할 수 있는 하중-변위 그래프를 선취하였다. 그 결과 S7M0L5인 경우 실험결과와 해석 결과의 최대 하중이 5.28% 정도의 차이를 보이며 S5M0L5인 경우 5.94%, S3M0L5인 경우 2.17%의 차이가 나타났다. 그리고 S7M0L10, S5M0L10, S3M0L10 각각 실험결과와 해석 결과의 최대 하중의 차이가 각각 5.31%, -2.93%, 2.9%가 나타났다. 그리고 해석상에서 앵커의 삽입 깊이가 깊어짐에 따라 해석상 하중의 감소 나타났지만 그 크기 적었다. 그 이

유는 앵커 슬리브와 콘크리트의 관계 때문으로 사료 된다. 그렇지만 모든 실험과 유한요소 해석이 거의 동일한 결과를 나타냈고 또한 해석 진행 중 나타난 응력 분포 또한 Fig. 10의 해석 그림과 같이 실제 실험과 유사한 경향이 나타났으므로 유한요소 해석으로 앵커 거동의 예측이 가능할 것으로 사료된다.

6. 결 론

본 논문에서는 비 균열 콘크리트에 설치된 후 설치 앵커의 인발 및 전단의 성능 평가를 하였다. 후 설치 앵커의 인발 및 전단의 성능 평가가 가능한 유한 요소 모델을 범용 구조 해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 도출 하였다. 매개 변수를 이용하여 해석을 수행 하였으며 해석된 변위 하중 그래프와 실제 실험에서의 변위 하중 그래프 결과가 유사함이 나타났다. 본 논문의 결론은 다음과 같다.

- 1) 후 설치 앵커의 인발 및 전단의 실험에서 앵커의 직경의 변화나 삽입 깊이의 변화에 대해서는 그 크기가 클수록 하중이 크게 작용함을 알 수가 있었다. 콘크리트의 부착 면적이 커지므로 그로인한 마찰 저항이 커지는 것으로 판단된다. 단 인발 실험 M2L5의 경우에는 앵커의 부착 효과를 발생하지 못하고 인발 하중이 적게 나타났다. 이유는 천공시의 문제 및 조임력(Torque)이 적었기 때문으로 사료된다. 그리고 인발 실험에서 앵커의 조임력의 변화에 대해 조임력 증가에 따라 하중이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 조임력이 클수록 초기 부착효과가 커지는 반면 그로인한 콘크리트 내부에 응력을 가한 상태에서 하중이 증가하므로 조임력이 적은 경우보다 인발 하중이 적게 나타났다. 단 전단의 경우에는 조임력의 영향이 적었다.
- 2) 실험으로 인한 파괴 거동은 인발 실험에서는 앵커의 삽입 깊이가 앵커 강재의 인장력을 발생시키기에 불충분한 경우 콘크리트 콘 파괴 또는 앵커강재의 인장력 또는 콘크리트 콘 파괴를 발생시키기에 너무 적은 확장 앵커에서 인발파괴가 발생하였다. 전단 실험에서는 대부분의 실험에서 앵커강재의 강재파괴가 발생되었다.
- 3) 실험의 조건과 같이 앵커 강재와 슬리브의 Contact이나 천공 구멍의 내부면과 슬리브의 Contact을 고려하여야 한다. 그리고 해석 시 Contact 조건을 Soft Contact으로 하여 해석을 진행 하였으며 각 케이스 별로 조임력의 효과와 앵커의 직경이나 삽입 깊이에 따른 변화를 예측하기 위해 각 케이스 별로 Clearance를 조정하면서 해석을 진행하였다. 이에 범용 구조해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 실제 사용 가능한 앵커 시스템의 유한 요소 모델을 도출하였다. 실제 실험과 동일한 모델을 적용하여 앵커의 인발 실험을 진행한 결과, 실험과 해석 결과의 거동이 비교적 일치하는 것으로 나타났다. 그리고 앵커의 삽입 깊이가 깊어짐에 따라 해석상 하중의 감소가 적게 나타났지만 최대 하중치의 변위가 유사하게 나타남으로 보아 콘크리트 구조물에 후 설치 앵커

Fig. 11. Verifications of the Finite Element Model on the Experimental Results

를 사용한 해석 대상에 대하여 비교적 정확한 예측이 가능 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 소방방재청의 자연재해저감기술개발사업의 지원 [과제번호:NEMA-자연-2011-49]을 받아 수행된 연구임.

References

- ACI Committe 349 (2000) *Code Requirement for Nuclear Safety Related Concrete Structures and Commentary*, ACI 349R-97, pp. 349R1-349R31.
- ACI Committe 446 (1995) *Finite Element Analysis of Fracture in Concrete Structures*, Report of Subcommittee 3, American Concrete Institute, Detroit.
- ACI Committee 349 (1978) Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures, ACI Journal, 75, pp. 329-347.
- ASM (1991), ASM Handbook: Irons, Steels, and High Performance Alloys, ASM International Barzegar, Maddipudi, S. (1997) Three-Dimensional Modeling of Concrete Structures II: Reinforced Concrete, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 123, No. 10.
- Fuchs, W., Eligehausen, R. and Breen, J. E. (1995) Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, *ACI Structural Journal*, Vol. 92, pp. 73-94.
- Hillerborg, A., Modeer, M. and Petersson, P. E. (1976) *Analysis of Crack Formation and Crack Growth in Concrete by means of Fracture Mechanics and Finite Element*, Cement and Concrete Research, 6, pp. 773-782.
- Hwang, Y.S. (2011) *A Study on the Fracture Resistance Characteristics of Post-Installed Anchor*, Seoul National University of Science and Technology Structural engineering 2011.2
- Jin, S.H. (2011) *Tension and shear strenth valuation of large size concrete anchor bolt*, Pusan University Graduate school : Civil and Environmental Engineering, Civil Engineering.
- Kim, S.Y. (2004) *Strenght evaluation of expansion anchors installed in plain concrete*, Dongguk University Graduate school : Architectural Engineering.
- Kim, Y.G. (2002) Performance test of Chemical Anchor Bolts for Concrete Repair, *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 17, No. 2, pp. 85-91.
- Ko, J.Y. (2004) *Shear Strength of Set Anchors Installed in Plain Concrete*, Dongguk University Graduate school : Architectural Engineering.
- Kwon, M.H. and Jang, J.H. (2004) Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Columns, *Journal of KCI*, Vol. 16, No. 3, pp. 397-406.
- Kwon, M.H. and Jo, C.G. (2003) A Concrete Model for Analysis of Concrete Structure with Confinement, *Journal of KCI*, Vol. 15, No. 3, pp. 433-442.
- Kwon, M.H., Park, M.H. and Park, S.K. (2000) A 3D Concrete Constitutive Model for Cyclic Analysis of Concrete Structures, *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 4, No. 4, pp. 165-173.
- Kwon, M.H., Spacone, E. and Balan T. (1999) *A Hypoelastic Model for Cyclic Response of Concrete Structures*, New Orleans Structures Congress.
- Son, J.W. (2002) *Fracture analysis of concrete anchor systems subjected to shear loads*, Yunsei University Graduate school : Civil Engineering.
-
- © Received July 5, 2012
© Revised July 12, 2012
© Accepted April 1, 2013