

# 콘크리트 CIP 앵커시스템의 파괴거동에 관한 연구

## Fracture Behavior of Cast-in-place Headed Anchors to Concrete

박 성 균<sup>\*</sup>      김 호 섭<sup>\*\*</sup>      윤 영 수<sup>\*\*\*</sup>      김 상 윤<sup>\*\*\*</sup>  
Park, Sung Kyun      Kim, Ho Seop      Yoon, Young Soo      Kim, Sang Yoon

### ABSTRACT

This paper presents the evaluation of behavior and the prediction of tensile capacity of anchors that fail concrete, as the design basis for anchorage. Tests of cast-in-place headed anchors, domestically manufactured and installed in uncracked, unreinforced concrete are performed to investigate the behavior of single anchors and multiple anchors with the consideration of various embedment lengths and edge distances. The failure mode and the load-deformation response of these anchors are discussed and the concrete failure data are then compared with capacity predictions by the two existing methods : the 45 degree cone method of ACI 349, 318 and the concrete capacity design (CCD) method. Discrepancies between the test results and these two prediction methods, FEM analysis are assessed.

### 1 서 론

기타 및 배관 등을 콘크리트 구조에 정착시키는 앵커시스템의 설계는 현재까지 강재 관입에 관한 ACI 349 코드를 근간으로 설계하여 왔다. 그러나 ACI 349 코드에 의한 앵커시스템 설계에 따른 불안전축인 영향 때문에 현재는 독일 등 유럽에서 제시한 Concrete Capacity Design (CCD) 설계방법이 유럽의 CEB 규준과 앞으로 개정될 ACI 349 규준 및 ACI 318 규준에 포함될 예정이다. 본 연구에서는 이러한 실정에 부합하여 국내에서 생산되는 cast-in-place (CIP) 볼트형 앵커를 사용하여 단일앵커, 다중앵커에 대한 관입깊이, edge 거리 등을 실험변수로 하는 인장실험을 통하여 실제 앵커시스템의 거동특성, 파괴모드, 유한요소해석 프로그램을 이용하여 해석한 후 실제 거동 및 ACI 349 규준과 CCD 설계방법에 의한 예측값과 실험값을 서로 비교 평가하여 콘크리트 앵커시스템의 구조적인 안전성 측면에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

### 2 실험계획 및 방법

콘크리트 앵커시스템의 단일 앵커에 대하여 인장실험을 하기 위하여 특수 제작된 voke를 사용하여 UTM (Universal Testing Machine) 에 설치한 후 각각의 콘크리트 앵커 실험력에 대하여 인장 실험을 수행하였다.

\* 정회원, 브이 에스 엘 코리아(주) 기술연구소

\*\* 정회원, 고려대학교, 토목환경공학과 대학원

\*\*\* 정회원, 고려대학교, 토목환경공학과 교수

\*\*\*\* 정회원, 한국원자력 안전기술원 책임연구원

## 2.1 실험체 제작

직육면체의 콘크리트 앵커 실험체를 거꾸집을 이용하여 타설하였으며 콘크리트는 레미콘을 사용하였다 콘크리트의 강도는  $210 \text{ kgf/cm}^2$  이며 각 실험체에 대한 명명법은 다음과 같다

1TC601  
①②③④⑤

그림 1 Specimen Index

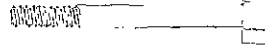


그림 2 CIP Headed Anchor

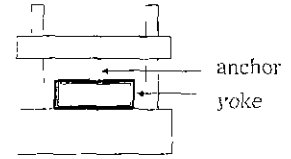


그림 3 Test Machine

위 그림 1에서 ①은 실험체 그룹을 나타낸다 즉 1=관입깊이 5cm, 2=관입깊이 10cm, 3=edge 거리, 4=그룹 앵커를 각각 변수로 하는 실험체 그룹이다. ②의 T는 인장하중 조건을 나타낸다 ③은 설치된 앵커의 종류로써 C는 Cast-In-Place 앵커를 의미한다 ④는 앵커의 직경으로 6=16mm, 2=12mm 직경의 앵커이다 ⑤는 실험한 순서이다.

표 1 Test Designation

Group	test variation	anchor type	anchor diameter	embedment length
1	embedment length	CIP	16mm	5cm
2	embedment length	CIP	12mm	10cm
3	edge distance	CIP	16mm	5cm
4	group anchor	CIP	16mm	10cm

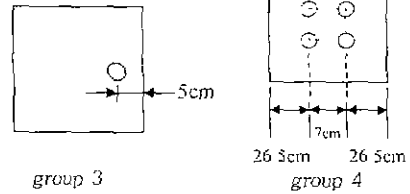


그림 4 Anchor Location

각 실험체의 두께는 파괴에 영향을 미치지 않도록 하기 위하여 관입깊이의 두 배 이상으로 제작되었다 또한 실험체 가로 세로에 대하여 각 ACI 기준 및 CCD 방법에 대한 영향면보다 크도록 제작하였다 콘크리트의 원추형 파괴를 유도하기 위하여 앵커의 인장력보다 콘크리트의 파괴강도가 작도록 설계하였고 사용한 앵커는 그림 2와 같으며 각각의 관입깊이는 표 1에 나타나 있다 그림 1은 그룹 3, 4의 앵커관입 위치를 나타내고 있다.

## 2.2 실험장비 제작 및 실험방법

특수 제작된 요크(yoke)는 UTM 내에서 앵커가 인발되어질 때 콘크리트 공시체가 움직이지 않도록 UTM 내에 고정되도록 설계되었고 각각의 공시체의 크기에 맞추어 조립이 가능하도록 하였다 그림 3은 UTM에 설치된 실험체를 나타낸 그림이다. 앵커의 길이가 한정되어 있기 때문에 UTM에 고정시킬 때 앵커의 길이를 연장하기 위하여 커풀러를 제작하였다. 이 때 커풀러는 앵커와 거동을 같이 하도록 견고하게 만들어졌으며 실험 시 항복하지 않도록 고강도의 재료를 사용하였다 실험그룹 4의 그룹앵커에 대하여 앵커 네 개를 고정시키는 plate의 가운데는 인장력을 받는 봉을 끼워 실험하였다 이 때 가운데 들어가는 봉의 두께로 인하여 판이 뜨는 것을 방지하기 위하여 앵커부위에 와셔를 끼워 실험하였다

## 3 실험결과 및 분석

### 3.1 실험 결과

실험 그룹 1인 관입깊이 5cm에 대한 실험결과 대부분의 실험체에서 cone 파괴가 일어났다 초기에는 Wedge-Spalling 파괴가 일어나면서 상부쪽으로 cone failure가 일어난다 보는 데이터 값이 1보다 큰 값을 나타내고 있으며 ACI 349 나 CCD 예측값은 거의 비슷한 결과를 나타내고 있다 그러나 CCD 방법의 경우 ACI 349 예측치보다 약간의 안전측의 값을 나타내고 있다 그림 5의 그룹 1은 파괴된 실험체의 모습으로 앵커를 중심으로 원추형의 파괴면을 나타내고 있다 실험 그룹 2인 관입깊이 10cm에 대한 실험 결과 모든 실험

험체의 파괴형태는 2TC208만을 제외한 나머지 실험체는 steel failure가 일어났다 2TC208의 경우도 cone failure가 일어난 후 steel failure가 동반되었다 ACI 349 및 CCD 방법의 예측값은 7~8 tonf의 값을 예측하고 있으나 실제 앵커가 파괴된 하중은 5.15~5.18 tonf에서 일어났다. 본래 원추형 파괴로 유도하였으나 concrete anchor system 강도보다 앵커의 강도가 작기 때문에 앵커의 파괴가 일어났다 Steel failure가 일어나면서 앵커 주변의 콘크리트는 응력집중에 의한 약간의 표면파괴가 동반되었다 실험그룹 3은 한 번의 edge 거리를 5cm, 관입깊이를 5cm로 하고 나머지 번의 edge 거리는 충분한 종시체이다 실험 결과 edge 거리가 충분하지 않은 경우 ACI 349 및 CCD 방법 모두에 있어서 강도값을 과대평가하는 것으로 나타났다. ACI 349의 경우가 CCD 방법보다 강도값을 더욱 크게 예측하는 것으로 나타났다 파괴형상은 한쪽면이 없는 반원추형 파괴가 일어났다 실험그룹 4는 그룹앵커에 대한 실험이다 그룹앵커의 파괴강도 예측값은 ACI 349가 CCD 방법보다 3 tonf 정도 크게 예측하고 있어 CCD 파괴 강도값보다 과대 평가 하고 있다 실제 실험 결과 파괴 강도값은 CCD 예측식의 강도값에 근접하고 있으며 ACI 349 예측값이 과대 평가함을 알 수 있다. 4TC616의 경우 실험도중 볼트의 파손으로 인하여 도중에 중단하였다.

### 3.2 실험결과 분석

그림 6과 그림 7은 각 그룹별 파괴 강도값과 각 그룹에 해당하는  $N_{(test)}/N_{(predict)}$ 의 평균값을 나타낸 그림이다. 그림 7에서 보듯이 실험그룹 1에 대해서는 ACI 349나 CCD 방법 모두 예측값이 안전측에 속하고 있으나 실험 그룹 3에 대해서는 ACI 349 값은 강도값을 너무 크게 예측하여 실측값과의 차이가 많이 나고 있으며 CCD의 경우 예측값과 실험값이 거의 일치하고 있음을 나타내고 있다. 세 그룹의 결과만 보더라도 CCD 방법의 경우 실측값과 예측값이 거의 일치하고 있어 CCD 방법이 보다 강도값을 추정하는데 유리하다고 판단된다. 각 실험그룹의 파괴양상을 살펴보면 실험그룹 1, 3, 4의 경우 콘크리트의 파괴가 일어났으며 실험그룹 2의 경우 강재의 파괴가 일어났다. 파괴된 양상을 살펴보면 기존 ACI 349나 CCD 방법의 파괴가정과 비슷한 파괴를 보이거나 원추형에 보다 가까운 파괴로 나타났다.



그림 1

그림 2

그림 3

그림 4

그림 5 Failure Shape Mode of Test Group 1

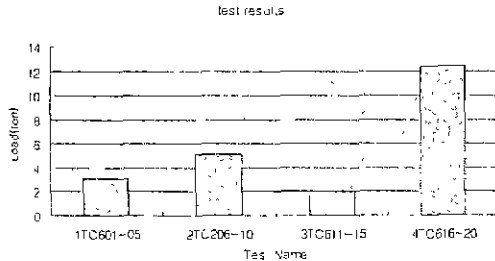


그림 6 Failure Load of Tested Specimens

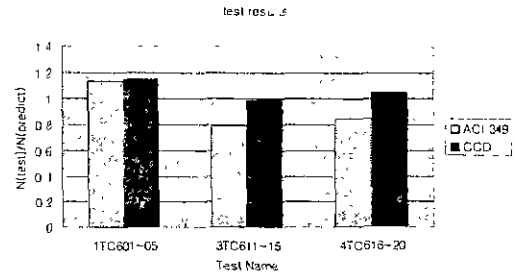


그림 7 Comparison of Failure Load of Tested Specimens

#### 4. 콘크리트 앵커시스템 유한요소해석

##### 4.1 개요

인장을 받는 콘크리트 앵커시스템의 파괴 거동 해석은 구조역학에서 중요한 문제로 되어왔다. 우선 앵커시스템이 구조물에 널리 쓰이고 있으며 파괴 거동을 분석하는데 많은 어려움이 있기 때문이다. 특히 앞서 설명된 관입깊이 20cm 이상의 앵커의 경우 ACI 349 기준은 불안전축인 것으로 나타났으며 이에 대한 연구가 많이 필요한 실정이다. 이에 따라서 유한요소해석을 통해서 단일앵커의 관입깊이에 따른 앵커시스템 해석을 통하여 파괴 강도를 예측 하고자 한다.

##### 4.2 해석 모델

###### 4.2.1 해석 모델의 재료특성과 형상

콘크리트 앵커시스템 파괴 거동을 살펴보기 위한 원형 실험체로 가정하여 해석을 수행하였다. 이는 축대칭 요소를 사용하기 위하여 가정된 것이며 앵커 상부면 전체에 하중이 작용하는 것으로 고려하였다. 다음과 같은 단일 앵커 단면에 대하여 표 2 및 표 3과 같은 재원을 입력하였다. 콘크리트의 균열에 대하여 모사하기 위하여 범용프로그램인 LUSAS의 Cracking Concrete (Model 82)를 이용하였다.

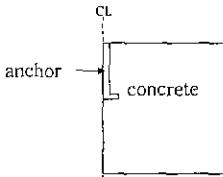


그림 8 Cross-Sectional in Axi-symmetric Analysis

표 2 Material Properties of Anchor

Young's Modulus, (kgf/cm <sup>2</sup> )	Poisson's Ratio
2040000	0.3

표 3 Material Properties of Concrete	
Young's Modulus, (kgf/cm <sup>2</sup> )	217371
Poisson's Ratio	0.167
Tensile Strength, (kgf/cm <sup>2</sup> )	21
Strain at Ultimate Strength	0.003

표 4 Analysis Section Properties (unit : cm)

No	embedment length	b	h	d	d <sub>b</sub>
1	5	40	20	2.6	1
2	10	40	40	2.6	1
3	15	60	60	2.6	1
4	20	80	80	5	1.5
5	25	80	100	5	1.5
6	30	100	120	5	1.5

실험체 단면에 대해서 모두 4가지 단면에 대하여 해석을 수행하였다. 콘크리트의 단면크기가 파괴에 영향이 없도록 실제 실험체 보다 크게 설정하였으며 각각에 대한 단면 치수는 표 4와 같다. 단면의 경계조건은 Axi-symmetric 축에 대해서는 수직롤러를 적용하였으며 나머지 면에 대해서는 힌지를 적용하였다. 그림 8은 단면에 대한 개략적 그림을 나타내고 있다.

그림 8과 같은 단면에 대하여 그림 10과 같이 분할하였다. 그림 9의 좌측그림은 앵커에 대한 그림이며 우측의 그림은 콘크리트에 대한 해석 단면이다. 그림 9에서 보듯이 앵커 상부에 하중을 적용시켰으며 또한 경계조건을 나타내었다. 앵커와 콘크리트 사이의 부착에 의한 파괴가 아니라 콘크리트의 인장응력에 의해 지배되는 파괴이므로 앵커와 콘크리트 사이의 부착메커니즘은 이 모델링에서 주요한 변수로 작용하지 않는다. 따라서 앵커의 머리부분이 실질적으로 인장하중을 받기 때문에 앵커의 머리부분(head)은 콘크리트와 완전 부착된 것으로 가정하였으며 앵커 기둥부분은 콘크리트와 미세한 거리만큼 떨어진 것으로 모델링하였다. 실질적으로 그림 9는 하나의 단면으로 표시되며 각각의 분할을 보여주기 위해서 분리시켜 나타낸 그림이다. 그림 10은 전체 분할을 나타내는 그림이다. 왼쪽 면을 기준으로 왼쪽상단에 앵커가 위치하며 나머지 부분은 콘크리트이다. 응력이 집중되는 앵커머리부분을 중심으로 분할의 간격을 길자각으로 넓혀갔으며 일정한 감소비율로 분할간격을 나누었다.

###### 4.2.2 모델의 하중 조건

앞과 같은 모델의 조건에 따라 각각 6개의 조건에 따라 파괴 예상 강도를 계산하고 그 강도보다 큰 하중을 적용시켜 각 하중에 대하여 예측 파괴 강도값에 따른 범위를 정하여 그 범위 내에서 10 kgf 씩 증가시키면서 해석을 수행하였다. 표 5는 각 모델별 강도 예상값을 나타내고 있다.

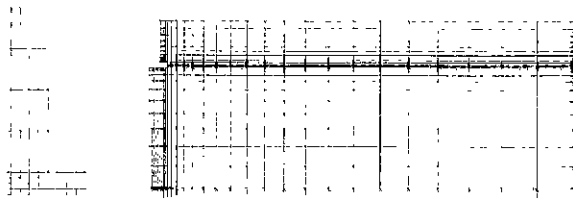


그림 9 Analysis Section of Anchor and Concrete

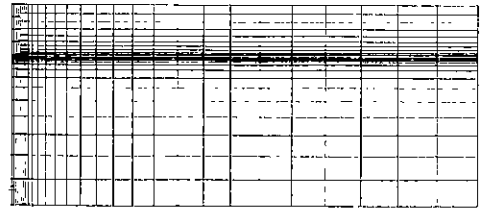


그림 10 Model of Concrete Anchor System (CIP anchor)

#### 4.3 해석 결과 및 분석

수행한 해석을 통하여 각 단면에 대한 stress contour 및 principal stress vector와 균열분포에 대하여 나타내었으며 각각의 해석결과 앵커 상부 표면에서의 하중증가중점에 대한 하중값을 피피 강도값으로 결정하였다. 해석은 비선형 해석을 수행하였다. 그림 11~13은 관입깊이가 5cm 인 단면에 대하여 최대하중이 작용할 때의 Stress Contour, Principal Stress Vector 및 균열분포에 대한 그림을 나타내었다. 그림에서 보듯이 응력분포는 앵커에 걸리는 응력에 비하여 콘크리트에 발생하는 응력이 작은 것으로 나타났다. 콘크리트에 있어서 가장 큰 응력이 발생하는 곳은 앵커머리 모서리 부분과 집한 곳이며 이 점을 중심으로 콘크리트 표면으로 갈수록 응력의 감소가 나타나고 있다. 이 때 응력의 단위는  $\text{kgf/cm}^2$ 이다. 주응력벡터는 앵커머리부분에 접하는 콘크리트의 수평 및 경사방향으로 인장응력이 발생하며 이는 콘크리트의 인장균열을 발생시키며 이 방향을 따라 균열이 나타나는 것으로 나타났다. 관입깊이가 깊어질수록 균열은 더욱 많이 발생하게 되며 또한 수평 및 경사방향으로 균열이 동시에 발생하는 것으로 나타났으며, 유사한 방법으로 관입깊이가 10, 15, 20, 25, 30cm 인 단면의 해석을 수행하고 결과를 분석하였다.

표 5 Predicted Failure Strength (unit : tonf)

No.	ACI 349	CCD Method	Maximum Applied Load
1	3.09	2.74	5
2	8.16	7.75	10
3	15.65	14.23	20
4	25.55	21.92	30
5	37.87	30.63	40
6	52.60	40.27	60

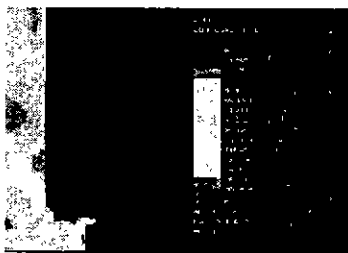


그림 11 Stress Contour

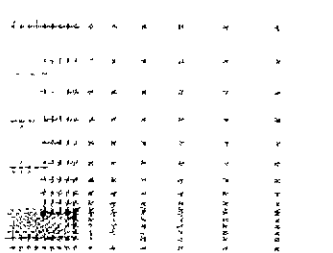


그림 12 Principal Stress Vector

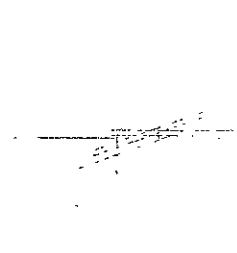


그림 13 Crack Distribution

앞서 해석한 단면에 대하여 표 6과 같은 결과를 나타내었으며 각 관입깊이에 따른 ACI 319와 CCD 방법의 강도예측값은 앞서 기술한 계산식에 의해 계산한 것이다. 표 6과 그림 14에서 보듯이 해석결과 ACI 349 및 CCD 방법의 예측값과 거의 유사한 값을 나타내고 있으며 관입깊이 30cm 이상의 관입 깊이를 가지는 경우 ACI 349의 예측값이 CCD 방법에 의한 예측값에 비하여 기술기가 압축의 커지고 있으며 이는 ACI 349의 불안전축임을 나타내고 있다. 해석결과 관입깊이 20cm까지는 ACI 349 및 CCD 방법과 거의 유사한 양상으로 나타나나 20cm 이상의 경우 두 예측값의 중간값에 수렴되고 있다. 이를 바탕으로 현재 ACI 349 콘크리트 앵커시스템 설계기준은 설계실험값 및 해석결과와 비교해서 불안전축인 것으로 나타나고 있다. 또한 그림 14에서 보는 것과 같이 관입깊이 20cm까지는 기준실험자료와 예측값 및 해석결과와 비슷한 양상으로 나타나나 20cm 이상에서는 설계기준의 보완 또는 수정이 필요하다.

표 6 Analysis Results (unit: tonf)

No.	ACI 349	CCD Method	Analysis Results
1	3.09	2.74	3.15
2	8.16	7.75	8.13
3	15.65	14.23	15.27
4	25.55	21.92	21.39
5	37.87	30.63	34.10
6	52.60	40.27	45.78

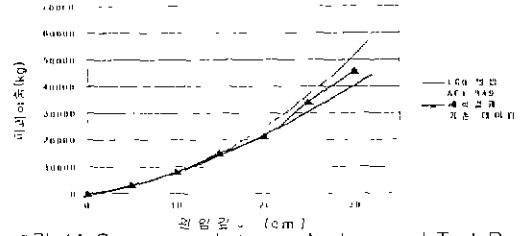


그림 14 Comparison between Analysis and Test Results

### 5. 결론

본 연구는 콘크리트 앵커시스템의 설계방법 적합성 평가에 관한 것으로서 단일 및 다중 CIP 앵커에 대하여 4가지 실험변수에 대하여 인장실험을 수행하였으며 이와 더불어 유한요소해석을 수행하였다. 실험결과와 해석결과는 앞서 설명한 ACI 349 표준과 CCD 방법과 서로 비교 평가하였으며 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) CIP(Cast-in-place) 앵커에 있어서 5cm 관입깊이를 갖는 경우 ACI 349 및 CCD 방법 모두 안전측의 예측값을 나타내었다 이는 실험결과 뿐만 아니라 ACI 349 및 CCD 방법의 예측값 모두가 실제 강도값을 안전측 이내에 예측하고 있다
- 2) CIP 앵커에 있어서 한 변의 edge거리가 5cm인 실험체는 ACI 349 및 CCD 방법 모두 예측값이 실험값보다 불안전측인 것으로 나타났으며 설계 방법에 있어서 ACI 349 및 CCD 방법의 강도에 대한 예측값 산정 시 단순한 면적비에 대한 예측값 산정뿐만 아니라 ACI 349의 경우 현행 강도저감계수보다 더욱 작은 계수값을 골라야 하며 CCD방법의 경우도 강도저감계수값을 낮추어야 하는 것으로 보인다
- 3) 그룹앵커의 경우 ACI 349의 예측값은 과대평가하고 있음을 알 수 있다 그러나 CCD 방법의 경우 예측값과 실험값이 일치됨을 알 수 있었다. 이는 다중앵커의 경우 CCD 방법의 크기효과를 고려했기 때문에 ACI 349의 예측값보다 작은 값을 나타낸 것이다
- 4) 유한요소해석결과 5cm 관입깊이의 경우 실제실험데이터와 비슷한 결과를 나타냈으며 관입깊이 20cm 이상의 경우 기존 연구결과와 비교해 볼 때 불안전측인 결과를 나타내고 있다 그러나 ACI 349 표준식과 CCD 방법과 비교할 때 유사한 결과를 나타내고 있으며 강도저감계수를 적용했을 경우 안전측의 예측을 할 수 있을 뿐만 아니라 실물 실험을 수행하지 않아도 파괴양상을 모사 할 수 있는 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 한국원자력 안전기술원과 고려대학교 특결연구비지원에 의하여 연구되었으며 이번 연구에 많은 도움을 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- 1 Werner Fuchs, Rolf Elgehausen, and John E Breen, "Concrete Capacity Design(CCD) Approach for Fastening to Concrete", ACI Structural Journal, Vol.92, No. 1, Jan.-Feb. 1995
- 2 R. A. Cook, G. T. Doerr, and R. E. Klingner, "Bond Stress Model for Design of Adhesive Anchors", ACI Structural Journal, Sep-Oct 1993.
- 3 Muzz Yener, "Overview and Progressive Finite Element Analysis of Pullout Tests" ACI Structural Journal, Jan-Feb 1994
- 4 ASTM, "Standard Specification for Performance of Anchors in Cracked and Non-cracked Concrete Element", Draft 1, Mar 22, 1993
5. ACI Committee 349-90, "Code Requirement for Nuclear Safety Related Concrete Structures", American Concrete Institute.
- 6 박성균, 윤영수, 이성규, 김성윤, 이성국, "경각부 콘크리트 앵커시스템의 설계방법 적합성 평가", 한국 콘크리트학회 논문집 제11권 2호, 1999.
- 7 LUSAS/MYSTRO Manual