

## 원전 내 앵커기초의 인장성능 평가시험

### Actual model test for Tensile Capacity Evaluation of Anchor System in NPPs

장정범, 이상균, 강태경, 서용표

한국전력공사 전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

#### 요 약

현재까지 원자력발전소 내에 설치되는 기기, 배관, 전기설비 등을 콘크리트 구조물에 정착하기 위한 앵커기초는 ACI 349 code 를 기준으로 설계되어 왔다. 그러나, 최근에 유럽에서 많은 실험 결과들을 근거로 하여 개발된 CEB Code 의 CCD ( Concrete Capacity Design ) 방법은 ACI 349 Code 에 의하여 설계된 앵커기초가 비보수적으로 설계될 수 있음을 밝히고, 콘크리트의 파괴에 초점을 맞춘 앵커기초의 설계를 채택하고 있다. 또한, US-NRC 에서도 1996 년에 발행한 SRP 에 상기 문제점과 관련하여 앵커기초에 대한 ACI 349 Code 의 설계기준을 인정하지 않고 ACI 318 또는 349 code 가 개정 또는 신규 발행되는 시점까지는 각각의 경우에 따라 시험결과에 부합되는 설계를 수행하도록 요구하고 있다.

따라서, 전력연구원에서는 국내 원자력발전소의 앵커기초에 적용할 수 있는 합리적인 설계기준을 검토하기 위하여 CEB code 의 CCD 방법과 ACI 349 Code 의 설계전반에 대한 관련 문헌분석과 분석내용을 토대로 앵커기초에 대한 다양한 조건의 시험체 제작 및 이를 이용한 인장과 전단성능시험을 수행하는 연구과제를 수행중에 있다. 본 논문에서는 이중 앵커기초의 인장성능시험과 관련된 시험계획과 예비시험결과에 대하여 나타내었다.

#### Abstract

The design of anchor system for fastening the equipments and piping systems, etc. to concrete structure has based on the ACI 349 code in korean nuclear power plant. But, CCD method of CEB code which was processed in Europe shows that anchor system design according to ACI 349 code has some of overestimated effects in the evaluation of tensile and shear capacity of the anchor system. Furthermore, according to US NRC SRP published in 1996, US NRC recognized that ACI 349 code had some problems for design of anchor system and recommended that anchor system should be designed by test results for each case.

In order to identify the validity of both ACI 349 Code and CEB-CCD code for design of anchor system in NPPs, KEPRI is examining a large number of literatures related to this

subject and based on the above examination, is carrying out the actual model test considering various test conditions. Among the actual model test, test plan and pretest results related to tensile capacity evaluation of anchor system are shown in this paper.

## 1. 서론

현재까지 원자력발전소 내에 설치되는 기기, 배관, 전기설비 등을 콘크리트 구조물에 정착하기 위한 앵커기초는 ACI 349 code 를 기준으로 설계되어 왔다. 그러나, 최근에 유럽에서 많은 실험 결과들을 근거로 하여 개발된 CEB Code 의 CCD ( Concrete Capacity Design ) 방법은 ACI 349 Code 에 의하여 설계된 앵커기초가 비보수적으로 설계될 수 있음을 밝히고, 콘크리트의 파괴에 초점을 맞춘 앵커기초의 설계를 채택하고 있다.

물론 이러한 내용에 대하여 많은 이견이 있으며, 이러한 ACI 349 Code 와 CEB Code 의 CCD 방법의 차이는 설계개념상에 내재하고 있는 차이점에 기인하고 있는 것도 사실이다. 즉, ACI 349 Code 는 주요 접합기구나 앵커설계에 있어서 파괴는 콘크리트에서 일어나는 것이 아니고 앵커 강제 자체에서 발생한다는 연성파괴개념에 바탕을 둔 반면, CCD 방법은 콘크리트 파괴에 초점을 맞추고 있다는 점이다.

그러나, 현재 관련된 많은 문헌상에서 나타나는 흐름으로 볼 때 ACI 355 Code 의 보강이나 ACI 318 Code 의 새로운 장으로 CEB Code 의 CCD 방법에 근거한 설계기준이 추가되려는 움직임이 지배적이며, US-NRC 에서도 1996 년에 발행한 SRP 에 상기 문제점과 관련하여 앵커기초에 대한 ACI 349 Code 의 설계기준을 인정하지 않고 ACI 318 또는 349 code 가 개정 또는 신규 발행되는 시점까지는 각각의 경우에 따라 시험결과에 부합되는 설계를 수행하도록 요구하고 있다.

따라서, 전력연구원은 과학기술부의 지원하에 국내 원자력발전소의 앵커기초에 적용할 수 있는 합리적인 설계기준을 검토하기 위하여 CEB code 의 CCD 방법과 ACI 349 Code 의 설계전반에 대한 관련 문헌분석과 분석내용을 토대로 앵커기초에 대한 다양한 조건의 시험체 제작 및 이를 이용한 인장과 전단성능실험을 수행하는 연구과제를 수행중에 있다. 본 논문에서는 이중 앵커기초의 인장성능시험과 관련된 시험계획과 예비시험결과에 대하여 발표하고자 한다.

## 2. 앵커시스템

### 2.1 앵커의 분류

콘크리트 구조물에 대한 앵커시스템의 적용은 콘크리트 구조물의 활용성을 증가시켜 왔으며, 특히 원자력발전소의 경우는 건물의 대부분이 철근콘크리트 구조로 설계되어 있어 건물내에 설치되는 많은 기기, 계통, 배관 및 배선 등을 콘크리트 구조물에 고정시키기 위하여 많은 앵커시스템이 사용되고 있다. 현재 널리 사용되고 있는 앵커시스템은 크게 Headed studs 나 Headed bolt 와 같은 Cast-in-place 앵커와 Post-installed 앵커로 분류된다. 이러한 분류기준은 앵커의 설치시기로서 Cast-in-place 앵커는 콘크리트를 타설하기 전 거푸집에 설치하는 앵커이며, Post-installed 앵커는 콘크리트 타설후 경화된 콘크리트에 설치하는 앵커로 정의된다.

Post-installed 앵커는 다음과 같이 4 가지로 분류할 수 있다.

[1] Self-drilling 앵커

드릴을 사용하여 설치되는 앵커

[2] Bonded 앵커

볼트의 직경보다 큰 구멍에 설치되며, 볼트와 접착제 그리고 접착제와 콘크리트사이의 부착력에 의해 정착되는 앵커

[3] Expansion 앵커

미리 뚫어놓은 구멍에 설치되어 앵커의 Cone 이나 Wedge 의 팽창에 의해 콘크리트에 힘이 전달되며 정착되는 앵커

[4] Undercut 앵커

콘크리트 부재에 뚫어놓은 종모양의 구멍에 앵커의 Cone 이 종모양의 구멍으로 확정되어 설치되며, 콘크리트 지압력에 의해 정착되는 앵커

## 2.2 앵커의 파괴양상

인장하중을 받는 앵커의 파괴양상은 앵커강재의 항복에 의한 절단파괴와 콘크리트 부재에서의 콘크리트 파열파괴 및 앵커의 인발파괴 등의 형태로 나타난다. 이러한 앵커의 파괴양상은 다음과 같다.

[1] Concrete cone breakout failure

앵커 주변의 콘크리트가 취성적으로 파괴되는 형태로서 앵커주변의 콘크리트에 미세균열이 발생한 후 이 미세균열은 콘크리트 표면에 큰 균열로 나타나며, 그 파괴양상은 반원추형의 모습으로 나타나게 된다.

[2] Concrete pryout failure

정착깊이에 비하여 앵커의 직경비가 작고 큰 인장력을 지지할 수 있는 경우 이러한 파괴가 일어나기 쉬우며, 앵커 및 콘크리트의 강도 그리고 앵커의 개수와 간격 등이 이 파괴에 영향을 준다.

[3] Steel failure

콘크리트의 파괴가 발생하기 전 앵커의 항복에 의해 연성파괴가 일어나는 경우이다.

[4] Pull-through failure

앵커에 작용하는 인장력이 앵커의 Cone 과 팽창장치 사이의 마찰력을 초과하는 경우에 발생하며, 이 파괴는 앵커의 Cone 의 경사와 표면상태 그리고 팽창거동 등의 영향을 받는다.

[5] Pull-out failure

앵커가 콘크리트로부터 완전히 뽑히는 경우로 콘크리트와 팽창장치 사이의 마찰계수에 의해 영향을 받는다.

## 3. 앵커시스템의 설계기준

CEB Code 의 CCD 방법과 ACI 349 Code 는 다음과 같은 세가지 주요 차이점을 갖고 있다. 첫째, 앵커의 지압연단으로부터 콘크리트 표면까지의 파괴 경사각을 CCD 방법은 ACI 349 Code 에 따른 45° 대신 35° 의 파괴 경사각을 채택하고 있고, 둘째 ACI 349 Code 는 콘크리트 강도가

앵커 매입깊이의 제곱에 비례한다고 가정하고 있으나 CCD 방법은 앵커 매입깊이의 1.5 제곱에 비례한다고 규정하고 있으며, 셋째 ACI 349 가 파괴면을 원추형으로 이상화한데 반해서 CCD 방법은 사각형의 피라미드 형태를 채택하고 있다는 점이다.

이렇게 상이한 개념을 가지고 있어 파괴강도 추정에서 그 값이 서로 다르게 되고, 실제 시험을 통해 얻어진 내용을 토대로 할 때, CCD 방법이 ACI 349 Code 보다 시험결과에 일치하는 결과를 주는 것으로 보고되고 있으며, 특히 ACI 349 Code 에 의해 설계된 앵커기초 중에서 일부는 인장하중에 비보수적으로 설계되고 있는 것으로 나타나고 있다.

### 3.1 ACI 349-90 Code

인장하중하에서 ACI 349 Code 는 그림 1 과 같이 45° 기울어진 파괴 원추형의 투영된 단면적 전체에  $\Phi 4 \sqrt{f_c}$  의 균일한 인장응력이 작용한다고 가정하였다. 또한 부재의 두께는 콘크리트의 원추형 파괴강도의 저항을 막기 위하여 충분히 크다고 가정하였다.

$$N_n = f_{ct} A_N \quad (1)$$

$$f_{ct} = \Phi 4 \sqrt{f_c} \quad (2)$$

여기서,  $\Phi$  : 강도감소계수 ( = 1 )

$A_N$  : 실제 투영면적

$f_c$  : 콘크리트의 설계기준강도 ( psi )

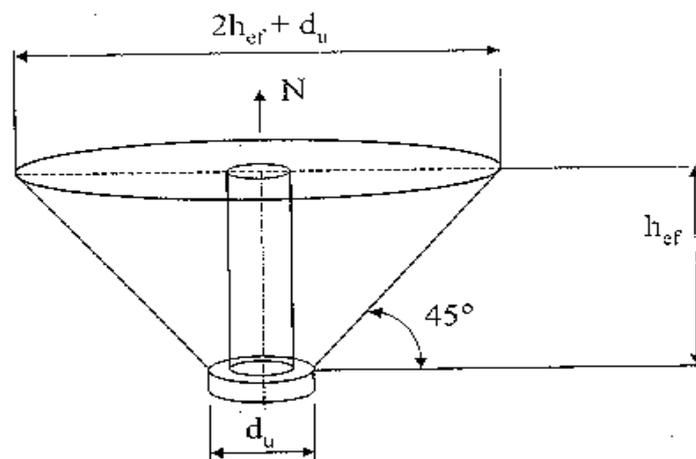


그림 1. 인장하중하에서 ACI 349 Code 에 따른 콘크리트의 파열파괴 형상

모서리의 영향이나 파괴 원추형의 겹쳐짐이 없는 단일앵커에 있어서 콘크리트 파열파괴의 저항 능력은 원추형 응력의 실제 투영면적에 인장응력을 곱한 식 ( 3 ) 에 따라 계산된다.

$$N_{no} = 4 \sqrt{f_c} \pi h_{ef}^2 \left[ 1 + \frac{d_u}{h_{ef}} \right] \quad (\text{lb}) \quad (3-1)$$

$$N_{no} = 0.96 \sqrt{f_{cc}} h_{ef}^2 \left[ 1 + \frac{d_u}{h_{ef}} \right] \quad (\text{N}) \quad (3-2)$$

여기서,  $N_{no}$  : 공칭 인장 파열파괴강도

$d_u$  : 앵커헤드의 직경

$h_{ef}$  : 앵커의 유효 매입깊이

$f_{cc}$  :  $1.18\sqrt{f_c}$  ( N/mm<sup>2</sup> )

겹쳐진 원추형, 모서리효과 (  $c < h_{ef}$  ) 그리고 부재의 두께때문에 발생된 콘크리트 파열파괴의 저항능력 감소는 식 ( 4 ) 와 같이 인장응력에 대해 제한이 없는 단일앵커의 순수 투영면적에 대한 실제 투영면적의 비를 곱하는 것으로 고려될 수 있다.

$$N_n = \left[ \frac{A_N}{A_{No}} \right] N_{no} \quad (4)$$

여기서,  $A_{No}$  : 겹쳐진 원추, 모서리효과 또는 부재의 두께에 제한이 없는 단일앵커의 투영면적

$A_N$  : 실제 파괴 원추의 투영면적

$c$  : 앵커로부터 콘크리트 부재의 모서리까지의 거리

### 3.2 CEB Code 의 CCD 방법

인장하중에 대한 CEB Code 의 CCD 방법은 그림 2 와 같이 35° 의 파괴경사각으로 사각형 피라미드형으로 콘크리트 파열파괴가 일어난다고 가정하고 있다.

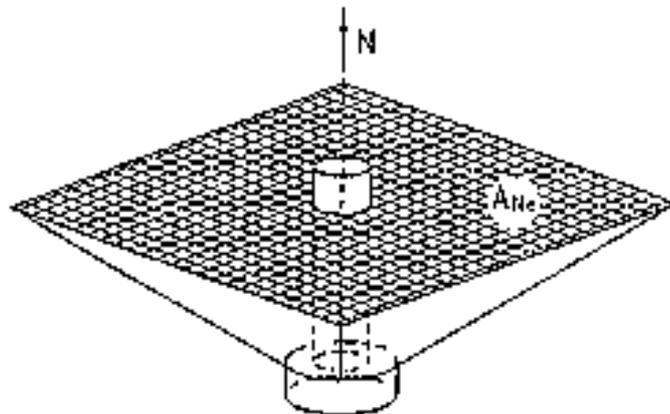


그림 2. 인장하중하에서 CEB Code 의 CCD 방법에 따른 콘크리트의 파열파괴 형상

모서리의 영향이나 주위 앵커의 피라미드 파괴 투영면적과 겹치는 부분이 없는 단일앵커의 경우 인장하중에 대한 콘크리트 파열파괴의 저항능력  $N_{no}$  는 식 ( 5 ) 와 같이 계산된다.

$$N_{no} = k_1 \sqrt{f_c} k_2 h_{ef}^2 k_3 h_{ef}^{-0.5} \quad ( 5 )$$

여기서,  $k_1, k_2, k_3$  : Calibration factor

식 ( 5 ) 의 Calibration factor 를 식 ( 6 ) 과 같이  $k_{nc}$  로 표현하면 식 ( 5 ) 는 식 ( 7 ) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$k_{nc} = k_1 k_2 k_3 \quad ( 6 )$$

$$N_{no} = k_{nc} \sqrt{f_c} h_{ef}^{1.5} \quad ( \text{lb} ) \quad ( 7-1 )$$

$$N_{no} = k_{nc} \sqrt{f_{cc}} h_{ef}^{1.5} \quad ( \text{N} ) \quad ( 7-2 )$$

여기서,  $k_{nc}$  : Post installed 앵커에 대하여 식 ( 7-1 ) 의 경우 35, 식 ( 7-2 ) 의 경우 13.5

: Cast-in-place 앵커에 대하여 식 ( 7-1 ) 의 경우 40, 식 ( 7-2 ) 의 경우 15.5

$f_c$  : 6 × 12 in 원통형 콘크리트 공시체의 압축강도 ( psi )

$f_{cc}$  : 한변이 20 cm 인 정육면체 콘크리트 공시체의 압축강도 ( N/mm<sup>2</sup> )

$h_{ef}$  : 앵커의 유효 매입깊이

식 ( 5 ) 에서  $k_1 \sqrt{f_c}$  은 파괴시 투영면적에 발생하는 콘크리트의 인장응력,  $k_2 h_{ef}^2$  은 파괴 투영면적을 나타내고,  $k_3 h_{ef}^{-0.5}$  은 크기효과 ( Size effect ) 를 나타낸다.

피라미드 형상의 파괴면적이 겹쳐지거나 모서리효과 때문에 발생한 콘크리트 파열파괴의 저항 능력 감소는 식 ( 8 ) 과 같이 주변 앵커나 모서리의 영향이 없는 앵커의 투영면적에 대한 실제 투영면적의 비를 곱하는 것으로 고려될 수 있다.

$$N_n = \left[ \frac{A_N}{A_{No}} \right] \psi_2 N_{no} \quad ( 8 )$$

여기서,  $A_{No}$  : 겹쳐진 파괴면적과 모서리효과의 영향이 없는 단일앵커의 투영면적

$A_N$  : 실제 피라미드 파괴형상의 투영면적

$\psi_2$  : 모서리효과에 의해 발생하는 방사방향의 응력교란을 고려하는 조정계수

$$\psi_2 = 1 \quad \text{if } c \geq 1.5h_{ef}$$

$$\psi_2 = 0.7 + 0.3 \frac{c}{1.5h_{ef}} \quad \text{if } c \leq 1.5h_{ef}$$

#### 4. 앵커기초의 인장성능시험

본 연구는 Cast-in-place 앵커기초의 성능시험을 통하여 ACI 349 Code 와 CEB Code 의 CCD 방법을 비교분석하고, 그중 국내 원자력발전소에 적용할 수 있는 합리적인 앵커기초의 설계기준을 검토하기 위한 것으로, 시험계획은 설계자료의 확보가 용이한 한국형 표준원전 ( KSNP ) 을 대상으로 수립하였다. 또한 원자력발전소 구조물 중 기기 및 배관이 많아 앵커기초가 가장 많이 사용되고 있는 내진 I 등급 구조물인 보조건물을 대상으로 하였다.

##### 4.1 앵커기초의 시험변수

본 연구에서 앵커기초의 인장 및 전단성능평가를 위하여 고려한 시험변수는 그림 3 과 같으며, 이들 시험변수에 대한 고려사항은 다음과 같다.

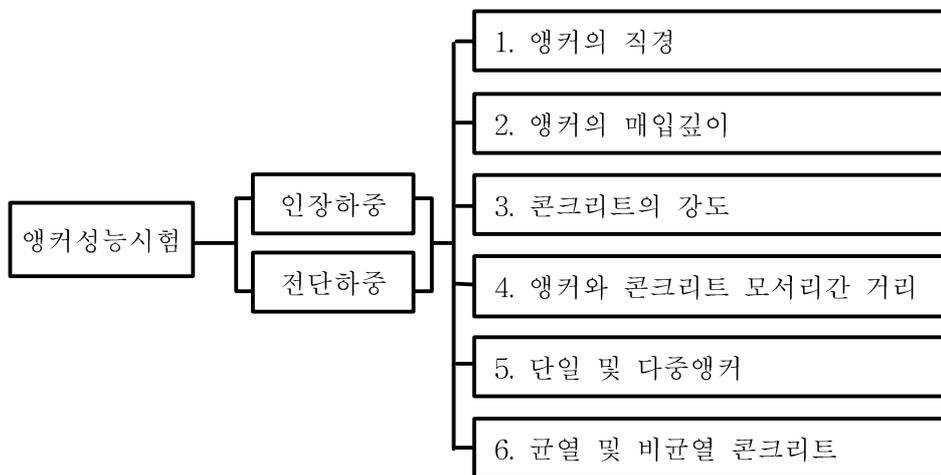


그림 3. 앵커기초의 성능시험변수

##### [1] 하중조건

앵커기초는 일반적으로 인장하중과 전단하중에 대하여 설계되나 본 시험에서는 일차적으로 인장하중만을 고려하도록 한다. 본 시험을 위한 가력장비로는 전력연구원에서 보유하고 있는 100 tonf 용량의 독일 Instron\_Schenk 사의 Actuator 를 사용하며, 하중은 변위제어를 통하여 점차적으로 하중을 증가시키고자 한다.

##### [2] 앵커의 직경

본 연구에서 검토대상으로 하고 있는 ACI 349 Code 와 CEB Code - CCD 방법의 주요 차이점은 앵커에 의한 콘크리트의 파괴형상이기 때문에 본 연구의 시험체들이 콘크리트의 취성파괴가 발생하도록 앵커의 직경은 KSNP 에서 많이 사용되고 있는 4 종류의 ASTM A193 Gr B7 의  $3/4$ ,  $1\frac{1}{8}$ ,  $1\frac{5}{8}$ , 2 inch Headed CIP anchor 를 사용하였다.

### [3] 앵커의 매입깊이

기존 관련 실험결과를 볼 때, ACI 349 Code 와 CEB Code 의 CCD 방법이 매입깊이 10 cm 이하의 경우에는 모두 보수적인 설계결과를 보이나, 매입깊이 10 cm 이상부터는 두 설계기준이 큰 차이를 보이며 비보수적인 설계결과를 나타내는 경우가 있다. 따라서, 본 시험에서는 앵커의 매입깊이에 따른 두 설계방법의 비교가 가능하도록 매입깊이를 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 35 cm 의 5 경우에 대하여 앵커의 성능시험을 수행하고자 한다.

### [4] 콘크리트의 압축강도

콘크리트의 압축강도는 다른 시험변수에 비하여 앵커기초의 파괴강도에 미치는 영향이 적고 국내 원자력발전소에서 사용하는 콘크리트의 압축강도는 거의 일정하기 때문에 KSNP 보조건물의 콘크리트 압축강도인 4,500 psi 를 사용하였다.

### [5] 앵커와 콘크리트 모서리간 거리

본 연구에서는 콘크리트에 매입된 앵커와 모서리 사이의 거리에 따른 콘크리트 파괴강도 및 파괴형상을 분석하기 위하여 앵커와 콘크리트 모서리사이의 거리를 시험변수로 고려하였다. 콘크리트가 파괴될 경우 나타나는 원추형 파괴모드나 피라미드형 파괴모드의 파괴반경보다 크거나, 작게 통일된 일정한 콘크리트 모서리로부터의 거리에 앵커를 매입하여 앵커와 콘크리트 모서리사이의 거리에 대한 영향을 분석하고자 한다.

### [6] 다중앵커

기기기초에 사용되는 앵커시스템의 경우 앵커 사이의 거리가 짧아 앵커의 지지력에 상호 영향을 미치는 경우가 많으므로 본 연구에서도 이러한 다중앵커의 영향을 고려하여 시험을 수행하고자 한다.

### [7] 균열 및 비균열 콘크리트

콘크리트는 외부의 하중과 내부의 열팽창 혹은 건조수축, 크립 등의 현상으로 인해 균열이 발생하는 경우가 많다. 이러한 콘크리트의 균열은 앵커의 강도에 영향을 미치며, 또한 균열은 앵커 주위의 인장 응력장을 교란시켜 응력분포를 바꾸게 된다. 따라서, 균열 및 비균열 콘크리트에 대하여 앵커시스템의 내진성능평가를 수행할 필요가 있으나, 본 시험계획은 기기 기초시스템 내진성능평가 중 1 차년도 연구내용으로서 본 단계에서는 비균열 콘크리트만을 대상으로 하며, 균열 콘크리트에 대한 앵커기초의 인장 및 전단하중에 대한 성능평가는 2 차년도에 수행할 예정이다.

## 4.2 앵커기초의 성능시험 횟수

ASTM E 488-96 의 규정에 의거 인장시험이나 전단시험의 경우 동일 시험조건에 대하여 최소 5 번 이상의 시험이 요구되며, 최종결과는 5 번의 시험결과에 대한 평균값이 요구된다. 표 1 은 ASTM E 488-96 에 의한 시험결과에 대한 분산계수에 따른 최소 시험횟수를 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서도 ASTM E 488-96 의 규정에 따라 동일한 시험조건에 대하여 5 번의 시험을 수행하고 그 시험결과에 대한 평균값을 사용하도록 한다.

## 4.3 변위측정

일반적으로 앵커의 강도는 50 ksi ~ 60 ksi ( 3,500 ~ 4,220 kg/cm<sup>2</sup> ) 이므로 앵커기초의 파괴가 콘크리트의 파괴패괴로 가정할 경우, 앵커 자체의 변형은 매우 작기때문에 무시할 수 있다. 따라서 앵커기초의 성능시험 시 변위측정은 LVDT 및 Actuator 를 이용하여 앵커의 Slip 변위를

표 1. 시험결과의 통계처리를 위한 규정

분산계수 ( % )	최소 시험횟수
~ 12	5
12 ~ 15	10
15 ~	30

측정하고자 한다.

#### 4.4 시험체 제작

앵커시험체는 ASTM E 488-96 의 규정에 따라 표 2 의 요구조건을 고려하여 제작하였으며, 앞절에서 언급했던 시험변수를 고려하여 제작된 시험체들은 표 3 과 같다. 또한, 국내 원전의 경우 CIP 앵커에 대하여 직매형과 슬리브 매립형의 두가지 형태로 시공하기 때문에 두 형태에 대한 앵커의 하중저항능력을 비교하기 위하여 표 3 에서 알 수 있는 것처럼 직매형과 슬리브 매립형에 대하여도 시험체를 제작하였다. 직매형과 슬리브 매립형으로 각각 앵커를 설치한 단면은 그림 4 와 같으며, 제작된 시험체 및 앵커기초의 성능시험을 위하여 설치된 Actuator 의 설치모습은 그림 5 및 그림 6 과 같다.

표 2. 인장하중에 대한 앵커기초의 성능시험을 위한 최소경간 요구조건

Post-installed 앵커		Cast-in-place 앵커	
지지부사이의 경간	모서리까지의 최소거리	지지부사이의 경간	모서리까지의 최소거리
2.0 h <sub>ef</sub>	1.0 h <sub>ef</sub>	4.0 h <sub>ef</sub>	2.0 h <sub>ef</sub>

#### 4.5 예비시험

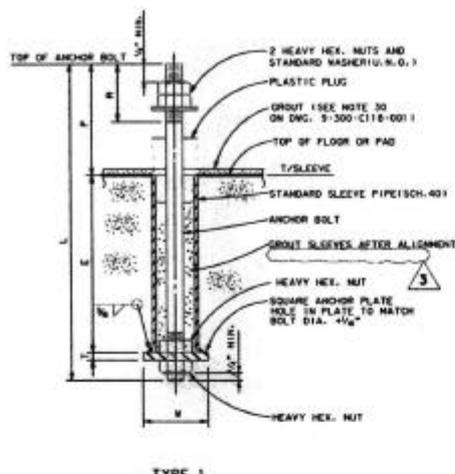
본시험에 앞서 수립된 시험체의 설계 및 제작계획, 가력장비인 Actuator 의 기능과 Actuator 의 인장하중을 앵커시험체로 전달하는 Coupler 등 전반적인 시험조건을 검토하기 위하여 사전에 예비시험을 수행하였다.

예비시험의 대상으로는 표 3 의 2 와 14 번 시험체를 대상으로 하였으며, Actuator 의 인장하중은 변위속도를 분당 1 mm 가 되도록 하중을 증가시키며 시험을 수행하였다. 앵커시험체는 제작후 콘크리트 양생을 시작한지 21 일째로, 측정된 콘크리트의 압축강도는 331 kgf/cm<sup>2</sup> 였다.

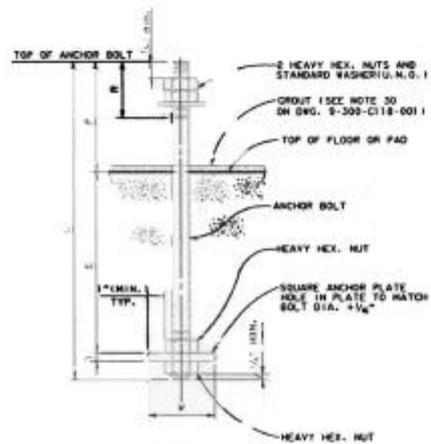
그림 7 과 같이 Actuator 와 앵커시험체를 설치한 후 예비시험을 수행한 결과, 슬리브 매립형의 앵커기초는 그림 8 과 같이 15.26 tonf 에서 최대 인장하중을 나타내며 콘크리트의 파열파괴가 발생하였다. 그러나, 직매형은 앵커와 Actuator 를 고정하는 부분에서 앵커의 파단이 일어나 시

표 3. 앵커기초의 인장성능시험을 위하여 제작된 시험체

구분	하중조건	매입깊이 ( cm )	단일 및 다중앵커	콘크리트 Edge 거리	수 량 ( 개 )	비 고	
1	인장하중	5	단일앵커 ( 직매형 )	중앙부	5		
2		10			5		
3		20			5		
4		30			5		
5		35			5		
6		10	다중앵커 ( 직매형 )		5		
7		20			5		
8		30			5		
9		10	단일앵커 ( 직매형 )		측면부		5
10		20					5
11		30		5			
12		35		5			
13		5	단일앵커 ( 슬리브 매립형 )	중앙부	5		
14		10			5		
15		20			5		
16		30			5		
합 계					80		



( a ) 슬리브 매립형



( b ) 직매형

그림 4. 슬리브 매립형과 직매형으로 설치된 앵커의 단면형상



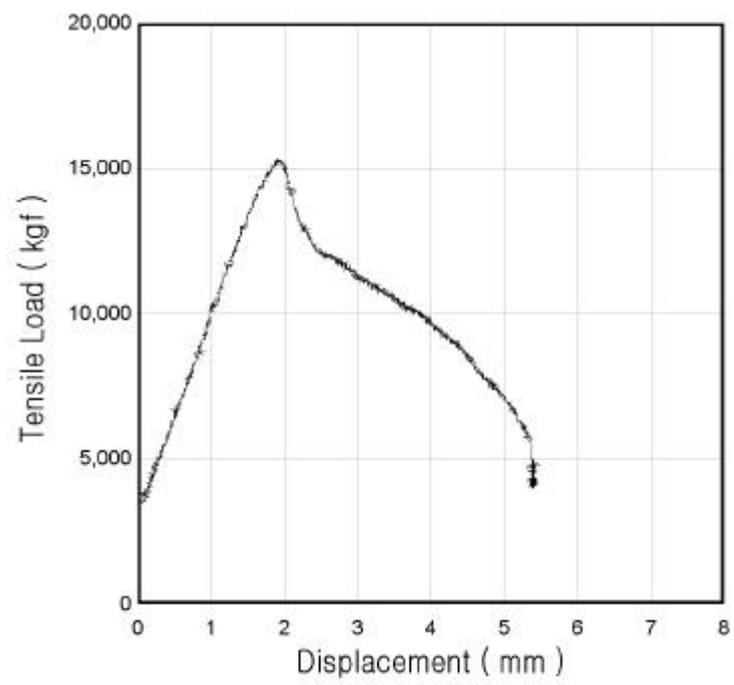
그림 5. 앵커기초의 성능시험을 위하여 제작된 시험체



그림 6. 앵커기초의 성능시험을 위하여 설치된 Actuator 설치모습



7. Actuator



8.

힘이 중단되었다. 그림 9 는 슬리브 매립형의 인장성능시험 결과, 콘크리트가 파괴된 형상을 보여주고 있다. 표 4 는 시험조건에 의한 앵커기초의 콘크리트 파열파괴 저항능력을 ACI 349 Code 와 CEB-CCD Code 에 의하여 계산한 결과와 시험결과를 비교하였다. 표 4 에서 알 수 있는 바와 같이, ACI 349 Code 는 15.84 tonf 를 CEB-CCD Code 는 12.56 tonf 를 나타내 시험결과와 각각 3.8 % 와 -17.7 % 의 차이를 나타내었다. 본 시험결과는 현재 많은 문헌에서 보고되고 있는 바와 같이 ACI 349 Code 가 시험결과를 약간 상회하는 경향을 보였고, CEB-CCD Code 는 보수적인 결과를 보였다.



( a )



( b )

그림 9. 슬리브 매립형 앵커기초의 콘크리트 파열파괴형상

표 4. 슬리브 매립형 앵커기초의 인장성능시험 결과

구 분	인장하중 ( tonf )	시험결과와의 차이 ( % )
인장성능 시험결과	15.26	0.0
ACI 349 Code	15.84	3.8
CEB-CCD Code	12.56	-17.7

## 5. 결 론

본 연구는 국내 원자력발전소의 앵커기초에 적용할 수 있는 합리적인 설계기준을 검토하기 위하여 CEB code 의 CCD 방법과 ACI 349 Code 의 설계전반에 대한 관련 문헌분석과 분석내용을 토대로 콘크리트 앵커기초에 대한 다양한 조건의 시험체 제작 및 이를 이용한 인장성능시험을 수행하고 있다. 현재 인장성능시험을 수행중으로 본 논문에서는 관련 시험계획과 예비시험결과를 나타내었다.

예비시험결과, ACI 349 Code 와 CEB-CCD Code 는 시험결과에 대해 각각 3.8 % 와 -17.7 % 의 차이를 나타내, 현재 많은 문헌에서 보고되고 있는 바와 같이 ACI 349 Code 가 시험결과를 약간 상회하는 경향을 보였고, CEB-CCD Code 는 보수적인 결과를 나타내었다.

본 연구의 최종결론은 많은 시험변수를 고려한 시험체에 대해 본시험을 수행한 후 유도할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일부로 수행되었으며, 이에 깊이 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] Fuchs, W., Eligehausen, Rolf, and Breen, J.E., " Concrete Capacity Design ( CCD ) Approach for Fastening to Concrete, " ACI Structural Journal, Vol. 92, No. 1, pp. 73 - 94, 1995.
- [2] Eligehausen, R. and Balogh, T., " Behavior of Fasteners Loaded in Tension in Cracked Reinforced Concrete, " ACI Structural Journal, Vol. 92, No. 3, 1995.
- [3] Hallowell, J.M., " Tensile and Shear Behavior of Anchors in Uncracked and Cracked Concrete under Static and Dynamic Loading, " University of Texas at Austin, 1996.
- [4] Primavera, E.J., Pinelli, J.P., and Kalajian, E.H., " Tensile Behavior of Cast - in -Place and Undercut Anchors in High Strength Concrete, " ACI Structural Journal, 1997.