

균열 콘크리트 면에서의 CIP앵커의 파괴거동

Fracture Behavior of CIP Anchor in Cracked Concrete

김호섭^{*} 윤영수^{**} 김상윤^{***} 박성균^{****}
Kim, Ho Seop Yoon, Young Soo Kim, Sang Yoon Park, Sung Kyun

ABSTRACT

This study concerns crack effect on concrete anchor system and prediction of tensile capacity, as governed by concrete cone failure, of single anchors located at center of concrete specimen. To investigate crack effect three different types of crack such as crack width of 0.2mm and 0.5mm, crack depth of 10cm and 20cm, and crack location of center and biased point were simulated. The static tensile load was subjected to 7/8 in. CIP anchor embedded in concrete of strength 280kg/cm². Tested pullout capacity was compared to prediction value by each current design method (such as ACI 349-97, ACI 349 revision and CEB-FIP which is based on CC Method). In these comparison CC Method and ACI revision showed almost same value in uncracked concrete specimen, however in cracked concrete CC Method showed conservativeness. Therefore the design by ACI 349 revision is recommended for the safe and economic design.

1. 서 론

기기, 배관, 전기설비 등을 콘크리트 구조물에 경제적이고 정확, 안전하게 정착하기 위해 전통적으로 콘크리트 타설 전에 시공하는 CIP 앵커가 일반적으로 사용되어 왔다. 특히 원자력 발전소의 경우 그 구조의 복잡성 및 설계수명을 고려할 때 각종 기기 및 부착물을 보다 안전하게 설치하기 위한 노력은 필수적일 수밖에 없다. 이러한 앵커 시스템에 있어 정, 동적 하중뿐만 아니라 지진하중을 견딜 수 있고, 콘크리트 구조물에 부착된 기기나 설비들의 정착에 대한 안정성이 전체 수명기간 동안 발휘될 수 있도록 고려하는 것은 매우 중요한 일이다. 하지만 무엇보다도 이러한 하중을 고려하기에 앞서 부재를 이루고 있는 콘크리트가 갖고 있는 균열의 고려는 필수사항이라 할 수 있겠다. 콘크리트 부재의 균열에 대한 가정은 앵커가 일반 RC 구조물의 설계개념과 일치한다. 즉 앵커 설계 시 비균열 콘크리트에서의 설계조건으로 설계하면 콘크리트의 균열 발생 시 그에 대한 균열 조건을 무시하는 것이므로 콘크리트 앵커시스템의 강도를 실제의 강도보다 높게 산정하는 것이 되고, 안전을 값이 낮아지게 되어 위험한 설계가 될 수밖에 없다. 그러므로 앵커의 설계 시 콘크리트 균열 존재를 반드시 가정하여 균열

* 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 석사과정
** 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 교수
*** 정회원, 한국원자력안전기술원 책임연구원
**** 정회원, 브이에스엘 코리아(주) 기술연구소 연구원

효과를 설계에 반영하여야 한다. 따라서 이번 연구는 콘크리트 앵커시스템에서 발생 가능한 여러 균열 모델을 모사하여 균열이 콘크리트 앵커시스템에 미치는 여러 영향을 조사하고 현존하는 여러 시방서에서 제시하고 있는 설계강도값과의 비교를 수행하여 균열 앵커시스템의 경제성 및 구조적으로 안전한 설계방향 및 이에 필요한 기초 자료를 제시하는 데에 있다.

2. 시험계획 및 방법

콘크리트 앵커시스템의 단일 앵커에 대하여 인장시험을 하기 위하여 특수 제작된 콘크리트 yoke를 이용하여 UTM (Universal Testing Machine)에 설치한 후 각각의 콘크리트 앵커 시험체에 대하여 정적 인장 시험을 수행하였다.

2.1 시험체 제작

직육면체의 콘크리트 앵커 시험체를 거푸집을 이용하여 타설하였으며 콘크리트는 $280\text{kg}/\text{cm}^3$ 강도의 레미콘을 이용하였다. 사용된 앵커는 직경 7/8 인치, 길이 20cm의 CIP 앵커를 사용하였다. 또한 균열 제어를 위하여 강도 $3000\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 D10 철근을 철근비 0.4488로 배근하였다. 철근의 배근은 45° 파괴각을 가정한 ACI의 경우나 35° 파괴각을 가정한 CC Method 어느 경우의 콘파괴 형상에도 간섭되지 않도록 파괴각 30° 가정으로 여유있게 배근하였다. 또한 시편의 크기 또한 이러한 파괴 반경에 단부 영향을 받지 않도록 $70\text{cm} \times 70\text{cm} \times 20\text{cm}$ 의 크기로 넉넉히 설계하였다. 여러 형태의 균열을 모사하기 위하여 균열 wedge splitter crack inducer 와 steel plate crack inducer를 이용하였다. 깊의 20cm, 균열 폭 0.2mm, 0.5mm의 균열을 모사하기 위하여 배근된 철근을 피하여 edge로부터 일정거리 떨어진 곳에 drill hole을 만들어 splitting tube를 삽입하여 일정 균열폭이 발생될 때까지 hammering을 가한다. 또한 10cm의 균열을 모사하기 위하여 콘크리트 타설 전 0.2mm 두께의 greased steel plate를 설치한 후 완전 경화되기 전 steel plate를 제거하여 균열을 모사하였다. 알맞은 균열폭의 측정은 데맥 포인터를 에폭사로 부착하여 strain meter와 전자 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 시험체는 모두 다섯 그룹으로 나뉘며 모든 시험 그룹의 앵커는 관입깊이 10cm로 설치되었다. 균열이 없는 시험 그룹은 NC로 명명하였으며 균열 시험 그룹은 'C2MF', 'C5MF', 'C2MH', 'C5BF'으로 명명하였다. 'C2MF'에서 첫 번째 문자 'C'는 균열을, 두 번째 문자는 균열폭을 의미하며 '2'는 0.2mm, '5'는 0.5mm의 균열폭을 의미한다. 세 번째 문자는 'M'의 경우 중앙에 앵커를 가로지르는 균열 위치를 또한 'B'의 경우는 파괴반경 내에 치우친 균열 위치를 나타낸다. 마지막 문자 'F'는 20cm 균열 깊이를 의미하며 'H'일 경우는 20cm의 절반인 10cm의 균열 깊이를 의미한다. 표 1에 변수별 시험 그룹을 정리하였다.

표 1 Test Variable

시험체명	균열폭	균열깊이	균열위치	수량
NC	-	-	-	3
C2MF	0.5mm	20cm	center	3
C5MF	0.2mm	20cm	center	3
C5MH	0.5mm	10cm	center	3
C5BF	0.5mm	20cm	biased	3

표 2 Specimen Details

	details
콘크리트	$f_{ck}=280\text{kg}/\text{cm}^2$, $f_{tk}=21.15\text{kg}/\text{cm}^2$
앵 커	$d=22\text{mm}$, $l=20\text{cm}$, $f_y=3568\text{kg}/\text{cm}^2$
철 근	$\rho=0.4488$, D10, $f_y=3000\text{kg}/\text{cm}^2$
시편크기	$70\text{cm} \times 70\text{cm} \times 20\text{cm}$.

2.2 시험장비 제작 및 시험방법

특수 제작된 콘크리트 요크(yoke)는 UTM 내에서 앵커에 인장하중이 가해질 때 콘크리트 시편을 고정 시켜주도록 UTM 내에 고정되도록 설계되었다. 그림 2는 UTM에 설치된 시험체 및 콘크리트 요크를 나타낸 그림이다. 앵커는 길이가 20cm로 한정되어있기 때문에 길이연장을 위한 커플러를 제작하여 UTM에 고정시켰다. 이 때 커플러는 앵커와 거동을 같이 하도록 견고하게 만들어졌으며 실험 시 항복하지 않도록 고 강도의 재료를 사용하였다.

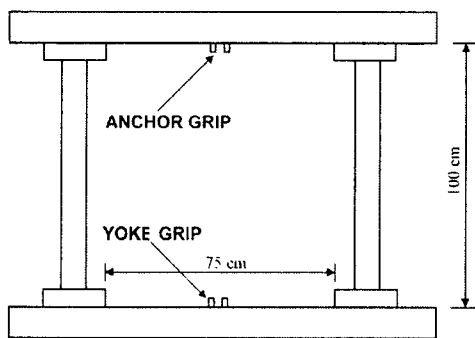


그림 1 UTM

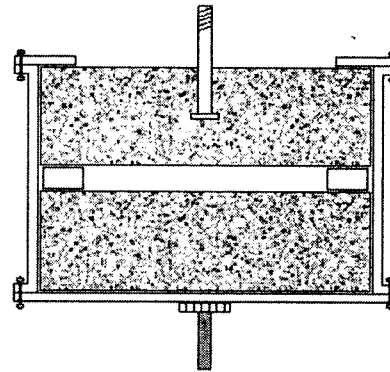


그림 2 Yoke and Specimen



그림 3 Test Machine

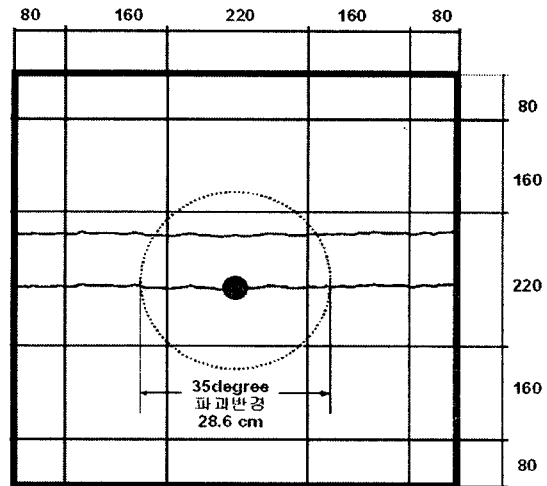


그림 4 Crack Position

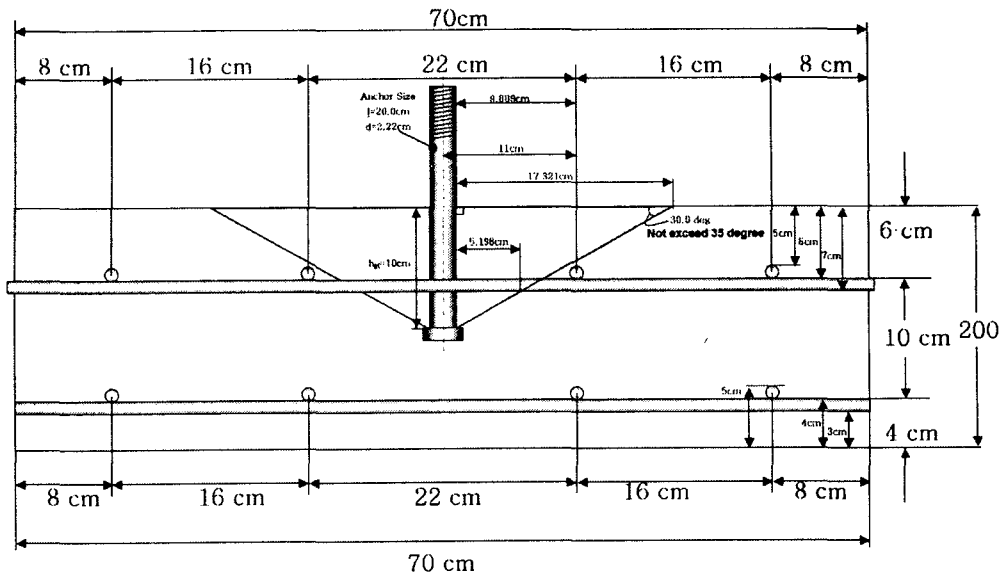


그림 5 Section Details

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험결과

균열이 없는 NC 시험그룹의 평균 파괴 하중은 7.6ton이 나왔으며 파괴 형상은 전형적인 콘크리트 콘 파괴가 발생하였다. ACI349-97 시방규준은 7.6ton 보다 작은 6.508ton을 제시하고 있고 ACI개정안과 CC Method에 의한 CEB규준의 경우 각각 6.728ton 및 6.731ton의 좀더 실험치에 근접한 경제적인 설계 강도를 추천하고 있다. 두 번째 시험그룹인 C2MF의 평균 파괴 하중은 6.36ton으로 NC 그룹보다는 작은 값을 갖고 있다. 또한 이 값은 C5MF 그룹이 갖는 5.918ton 보다는 큰 값을 알 수 있다. 20cm 깊이로 균열을 모사한 C2MF 및 C5MF 시험그룹의 파괴 양상은 거의 비슷한 결과를 보여주고 있으며 미리 발생된 균열 면을 따라 콘크리트 콘파괴 모델이 양분되거나 추가적인 균열로 인해 때로는 사방방사 균열을 볼 수 있었다.

균열 깊이 10cm의 C5MH 시험 그룹의 파괴강도는 6.367ton이 나왔고 이는 같은 조건하에 균열 깊이가 20cm인 C5MF 시험 그룹보다 더 큰 값을 나타냈다. 마지막 시험그룹인 C5BF의 파괴강도는 6.52ton으로서 C5MF 및 C5MH 보다 큰 값을 얻을 수 있었다. 파괴형태는 대부분 비대칭 콘파괴 형상을 나타내고 있는데 균열로

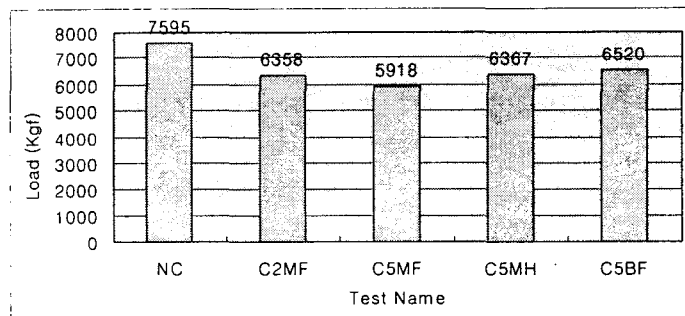


그림 6 Failure Load of Tested Group

인해 발생하는 콘크리트 내의 압축 영역의 응력과 앵커를 통해 전해지는 인장응력과 상대적으로 상쇄되어 비대칭 성을 띠게 된다. 균열 콘크리트에서 가장 낮은 강도를 보인 시험 그룹은 깊이 20cm, 앵커를 가로지르는 0.5mm 폭을 갖는 균열로 나타났다. 모든 시험그룹의 파괴는 콘크리트 콘 파괴양상을 띠었고 어떤 경우에도 steel failure, pullout failure 및 pull-through failure 등은 발생하지 않았다. 균열없는 콘크리트 시편에서 ACI 349-97 규준은 과보수적인 강도를 보이고 있으나 개정안의 설계강도는 이보다 작고 실제 시험값에 가까운 CEB 규준과 거의 흡사한 강도를 보이고 있다. 균열 콘크리트에서는 ACI 개정안 설계 강도가 가장 시험값에 근접한 값을 보이고 있다.

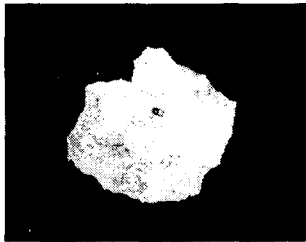


그림 7 Failure of NC

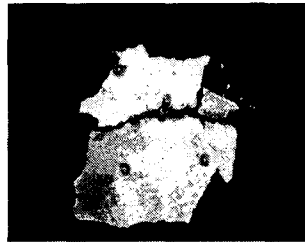


그림 8 Failure of C2MF

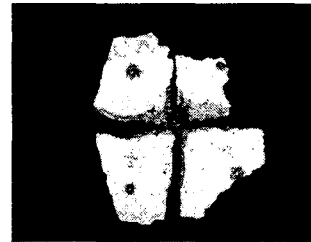


그림 9 Failure of C5MF

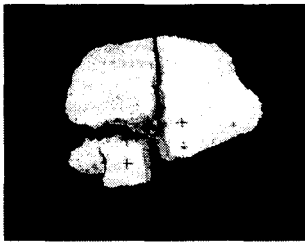


그림 10 Failure of C5BF

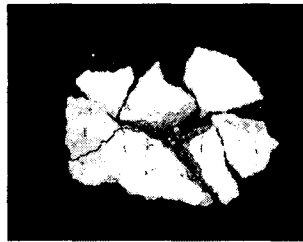


그림 11 Failure of C5BF

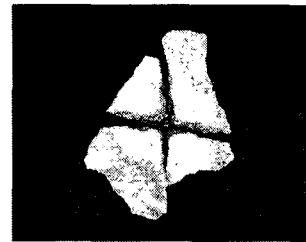


그림 12 Failure of C5MH

3.2 결과분석

그림 13은 각 그룹에 해당하는 $N(\text{test})/N(\text{predict})$ 의 평균값을 나타낸 그림이다. 그림 13에서 보듯이 모든 시험 그룹에 대해 ACI, CC Method 방법 모두 예측값이 안전 측에 속하고 있으나 NC 그룹에서의 개정 이전 ACI 예측값은 너무 크게 예측하여 실측값과의 차이가 많이 나고 있다. 이는 기존 ACI349-97 시방서는 45° 파괴각의 콘크리트 콘파괴 모델에 기초하여 관입깊이의 제곱에 비례하는 강도 예측식을 사용하고 있지만, ACI 개정안의 경우 CC Method에서 사용하고 있는 35° 파괴각의 콘크리트 콘파괴 모델에 기초하여 관입깊이의 1.5승에 비례하는 강도 예측식을 사용하고 있기 때문이다. ACI 개정안 및 CEB 설계 예측식은 같은 개념을 사용하지만 하중저감계수 및 안전율을 달리하여 약간의 차이를 보이고 있다. 균열 콘크리트의 경우 모든 시방서는 균열의 종류와 형태에 상관없이 모두 일괄적인 균열 계수를 고려하고 있다. 따라서 여러 형태의 균열 중 발생 가능한 가장 위험한 형태의 균열에 대한 균열 계수 산정이 필요하다. CC Method의 경우 비균열 콘크리트에 비해 40% 높여 균열 계수를 산정하였고 ACI의 경우 30% 높여 균열 계수를 산정하였으며 ACI 개정안의 경우 25% 높여

균열 계수를 산정하였다. 시험결과에 비추어 볼 때 균열 콘크리트에서는 CC Method의 설계강도는 과 보수적인 경향을 띠고 있으며 ACI 개정안에 의해 설계하는 것이 가장 경제적이고도 안전한 설계로 평가된다.

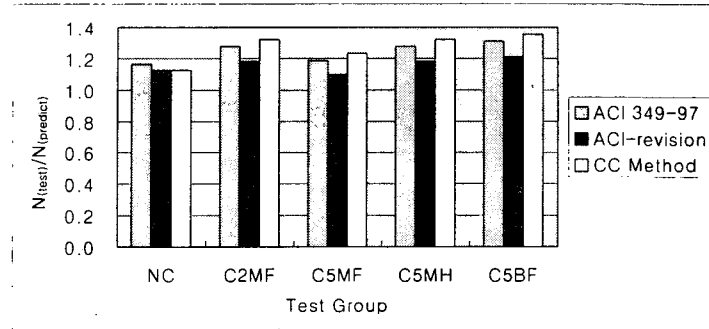


그림 13 Comparison Test Result with Prediction

4. 결론

본 연구는 균열 콘크리트 및 비균열 콘크리트에서의 콘크리트 앵커시스템의 설계방법 적합성 평가에 관한 것으로서 단일 CIP 앵커시스템의 거동 및 파괴강도를 조사하였으며 이와 더불어 ACI 및 CC Method (CEB-FIP)와 비교분석을 하였으며 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 콘크리트 단면에 발생 가능한 균열 중 가장 위험한 형태의 균열은 앵커를 가로지르는 균열로 균열 깊이가 깊고 균열폭이 넓을수록 파괴강도는 급격히 저하되는 것으로 나타났다. 또한 균열 단면에서 콘크리트 파괴는 큰파괴 형상보다는 사방 방사균열을 따라 나뉘어진 파괴형상을 보인다. 또한 이러한 균열의 영향으로 파괴반경이 커지는 경향 또한 나타났다.
- 2) 직경 22mm, 길이 20cm 및 10cm의 관입깊이를 갖는 단일 CIP 앵커의 경우, 균열 및 비균열 콘크리트 단면에서 개정 전후의 ACI 349 Code 및 CC Method (CEB-FIP) 모두 안전한 인장 예측값을 보여 주고 있다.
- 3) 균열 단면에서 CC Method에 의한 강도 예측값은 과대 평가하는 경향을 보이며 이에 ACI 개정안 시방 규준은 좀더 실험값에 근접하는 경제적인 예측값을 나타냈다. 반면 비균열 단면의 콘크리트에서의 강도예측은 CC Method 및 ACI 개정안 모두 실험값에 근접한 거의 흡사한 값을 보이고 있다. 따라서 ACI 개정안에 의한 설계가 가장 안전하고도 경제적인 설계로 평가된다.

참 고 문 헌

1. ACI 349 Proposed Revisions to "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures and Commentary" New Appendix B, Fastening to Concrete.
2. Werner Fuchs, Rolf Eligehausen, and John E. Breen, "Concrete Capacity Design(CCD) Approach for Fastening to Concrete", ACI Structural Journal, Vol.92, No. 1, Jan.-Feb. 1995.
3. R. A. Cook, G. T. Doerr, and R. E. Klingner, "Bond Stress Model for Design of Adhesive Anchors", ACI Structural Journal, Sep-Oct 1993.
4. ASTM, "Standard Specification for Performance of Anchors in Cracked and Non-cracked Concrete Element", Draft 1, Mar. 22, 1993.