

# 기기기초 시스템의 보강방안에 대한 연구

## Study on Reinforcing Method of Equipment Foundation System

송 영 철\*\* 최 흥 식\* 조 명 석\*\*\* 우 상 균\*\*\* 이 시 우\*\*\*\* 이 성 태\*  
Song, Young Chul Choi, Hong Shik Cho, Myung Sug Woo, Sang Kyun Lee, Si Woo Yi, Seong Tae

### ABSTRACT

This study was carried out to suggest the effective reinforcing method which can evaluate the tensile capacity of cast-in-place anchor with cracks. Currently, cast-in-place anchor is used widely for the fastening of equipment in Korean NPPs. 26 test specimens with a single anchor under 4 cracked conditions are prepared using plain concrete. The distance between crack and anchor and reinforcing materials were selected as the main test variable. The tensile force was applied using a actuator with a capacity of 100 tonf using a displacement control method of 0.5 mm/min velocity. Test results from this result show the combination of carbon plate and epoxy will be more available for repair and reinforcement of equipment foundation system in NPPs. Further experimental work is indeed involving the epoxy injection effect and adjustment of reinforcing location of carbon sheet.

### 1. 서 론

원자력 발전소 내에 설치되는 기기, 배관, 및 전기설비 등을 철근콘크리트 구조물에 정착시키는 기기기초는 그 역할이 매우 중요하다. 특히 가동중 원전을 대상으로 수행중인 주기적 안전성평가(PSR)의 항목 중 하나인 기기에 대한 내진검증 시, 기기기초의 보강방안은 더욱 중요하다. 본 논문에서는 신규원전의 기기기초 설계 및 가동중 원전의 기기기초 보강방안을 제시하기 위하여 국내원전에서 가장 널리 적용되며 균열의 영향을 고려하는 직매형 앵커기초를 대상으로 실험적 연구를 수행하고자 한다. 즉, 원전내의 기기기초에는 다양한 형태의 균열이 발생하고 있고, 이 균열은 기기기초의 성능에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 효율적 보강방안 및 추후 수행할 연구과제를 제시하고자 한다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 실험변수

본 실험을 위하여 4가지 경우의 균열이 발생한 무근콘크리트 조건에서 26개의 직매형 기기기초실험체가 제작되었으며 자세한 실험계획은 아래와 같다. 균열폭과 균열깊이는 각각 1.5 mm와 10 cm로 하였으며, 균열의 관통은 균열이 앵커볼트를 직접 관통하는 경우와 앵커볼트로부터  $0.75h_{ef}$ (7.5 cm) 만큼 떨어져서 관통하는 경우로 하였다. 사용된 앵커볼트의 직경은 2.54 cm이며 그 재질은 ASTM A193 Gr B7( $f_y = 7,300 \text{ kgf/cm}^2$ )이고 콘크리트 설계기준강도는  $280 \text{ kgf/cm}^2$ 로 하였다. 한편, 표 1에는 본 연구에서 사용된 실험 경우의 수가 나타나있다.

\* 정회원, 충청대학 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

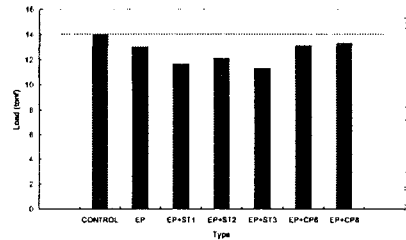
\*\*\* 정회원, 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

\*\*\*\* 정회원, 충청대학 건축공학과 교수

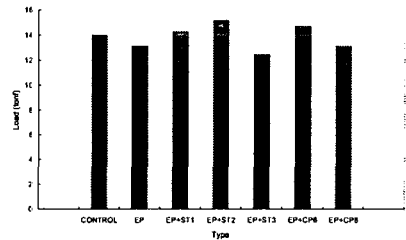
표 1 기기기초 보강방안 실험용 공시체 및 결과

균 열			보수/보강 사용재료	파괴하중 (tonf)	큰 사이즈 (cm)
폭 (mm)	깊이 (cm)	거리 (cm)			
N/A			N/A	12.267	73×75
N/A			N/A	15.765	73×75
0.3	10	0	EP	13.119	65×70
0.3	10	7.5		14.153	60×65
1.5	10	0		14.241	65×75
1.5	10	7.5		10.562	66×75
0.3	10	0	EP+ST1	14.273	70×65
0.3	10	7.5		9.659	36×36
1.5	10	0		12.180	60×70
1.5	10	7.5		10.617	60×48
0.3	10	0	EP+ST2	15.223	65×70
0.3	10	7.5		10.530	75×40
1.5	10	0		12.149	65×70
1.5	10	7.5		10.580	55×70
0.3	10	0	EP+ST3	12.472	75×65
0.3	10	7.5		10.611	55×42
1.5	10	0		9.995	66×70
1.5	10	7.5		12.269	50×55
0.3	10	0	EP+CP6	14.694	60×50
0.3	10	7.5		13.126	64×37
1.5	10	0		14.047	55×53
1.5	10	7.5		10.594	63×39
0.3	10	0	EP+CP8	13.126	50×55
0.3	10	7.5		13.020	65×60
1.5	10	0		13.238	55×60
1.5	10	7.5		13.916	56×56

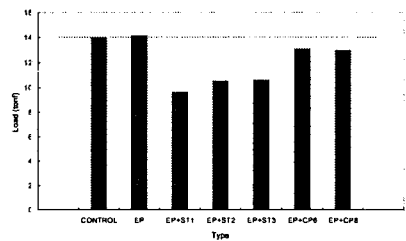
주) EP 에폭시 주입  
 ST1 탄소섬유1겹 ST2 탄소섬유2겹 ST3 탄소섬유3겹  
 CP6 탄소판6장 CP8 탄소판8장



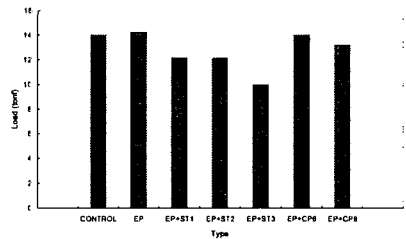
a. 보강별 평균값



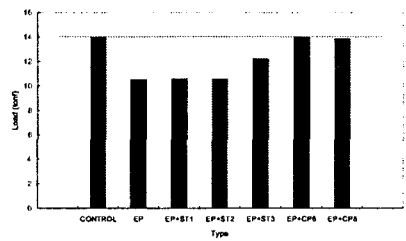
b. 앵커 중앙에서 0cm 떨어진 0.3mm 균열



c. 앵커 중앙에서 7.5cm 떨어진 0.3mm 균열



d. 앵커 중앙에서 0cm 떨어진 1.5mm 균열

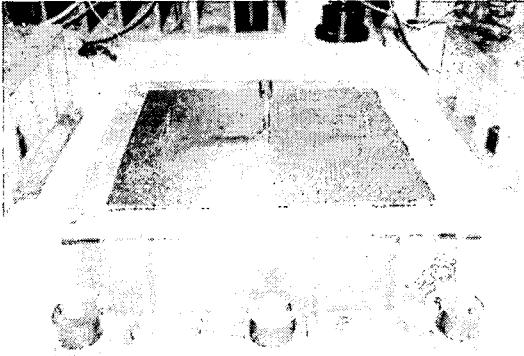


e. 앵커 중앙에서 7.5cm 떨어진 1.5mm 균열

그림 3 균열 및 보강재료 별 파괴하중

## 2.2 기기기초실험체

본 실험을 위하여 제작된 기기기초실험체의 지간과 두께는 각각  $8.0h_{ef}$ 와  $4.0h_{ef}$ 이다. 즉, 실험체의 제원은  $0.98 \times 0.98 \times 0.4$  m(가로×세로×두께)이고 그림 1은 제작된 실험체를 나타낸다.



(a) 탄소섬유로 보강한 경우

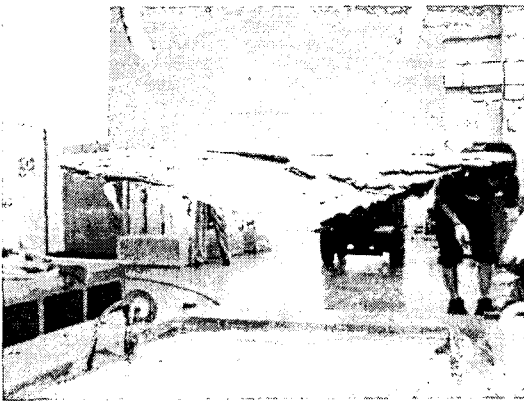


(b) 탄소판으로 보강한 경우

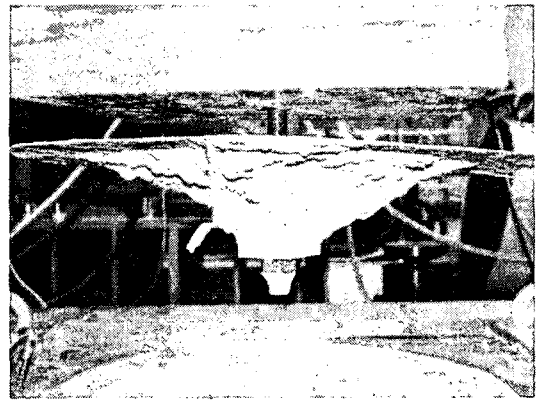
그림 1 기기기초실험체

## 3. 실험결과 분석

그림 2는 균열위치에 따른 파괴형태를 나타낸 것이고, 그림 3은 균열 및 보강재료에 따른 파괴하중을 나타내는데 분석결과는 다음과 같다.



(a) 중앙에 균열이 있는 경우



(b) 외측에 균열이 있는 경우

그림 2 균열위치에 따른 파괴형태

### 3.1 탄소판 보강의 경우

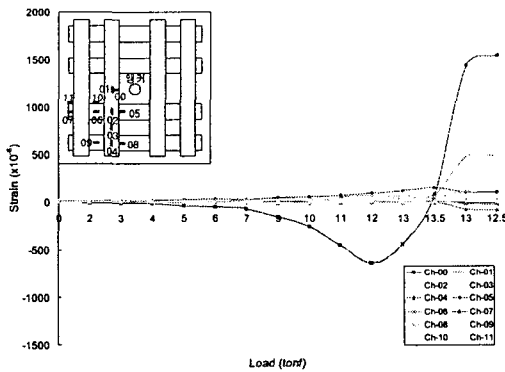
에폭시 보강과 비교해서 에폭시 주입효과에 큰 영향을 받지 않고 인발력에 상당한 증가를 가져왔다. 균열에 직각방향으로 4장의 탄소판을 부착한 경우, 이는 균열을 가로지르는 방향에 대한 강성의 보강에 효과가 있는 것으로 나타났다. 균열과 직각방향으로 보강한 탄소판의 배력방향으로 2장과 4장의 탄소판을 격자로 배근한 결과, 앵커 주위에 2장의 탄소판만 배치해도 충분한 것으로 나타났다. 전체적으

로 에폭시 주입효과는 크지 않은 것으로 나타났으며, 매우 좁은 각도의 파괴면적을 갖는 콘이 형성되었다. 한편, 균열에 직각방향으로 보강한 탄소섬유에 추가로 격자로 배근한 결과 1장의 탄소섬유시트로도 에폭시 충전효과에 따라 어느 정도 보강 효과를 갖는 것으로 나타났다.

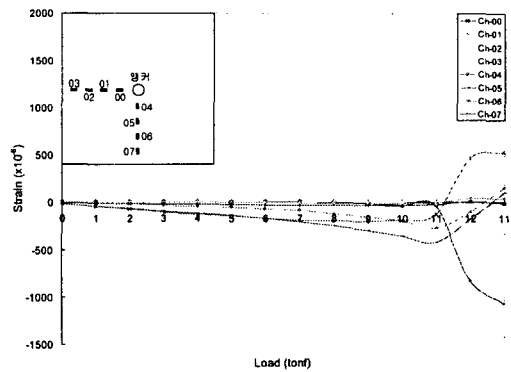
그림 4는 탄소판과 탄소섬유로 보강한 경우에 대한 변형률과 하중관계를 나타내고 있다. 각 경우, 인장하중이 직접 가해지는 앵커 부근과 균열방향으로 설치된 게이지에서는 하중의 증가에 대한 변형률의 변화가 더 뚜렷하였다. 또한, 탄소판으로 보강한 경우, 탄소판을 균열에 직각으로 붙이면 최대응력이  $146 \text{ kgf/cm}^2$ 로 탄소판을 균열에 평행한 붙인 경우(응력  $75 \text{ kgf/cm}^2$ )보다 2배정도 더 지지함을 알 수 있었다.

### 3.2 탄소섬유 보강의 경우

탄소판 보강과 비교해서 에폭시 주입효과에 영향을 많이 받은 것으로 나타났으며, 약간의 인발력 증가를 가져왔다. 균열을 가로지르는 방향에 대한 강성의 보강효과는 적은 것으로 나타났으며 인발 후 전도의 방지 등에는 효과적인 것으로 나타났다.



(a) 탄소판으로 보강한 경우



(b) 탄소섬유로 보강한 경우

그림 4 보수방안에 따른 변형률과 하중관계

## 4. 결론

본 논문에서는 기기기초 시스템의 보강방안에 대한 연구를 수행하여 보다 폭 넓은 검토를 하고자 했으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 보강방법에 따른 인발력의 보강효과 분석; 앵커에서 7.5 cm 떨어진 균열의 경우, 보강재의 증가에 따라 인발력에 대한 보강효과가 증가하였다. 탄소섬유시트의 보강량(1장, 2장, 3장)에 따른 보강효과와의 차이가 크지 않은 것으로 나타났으며, 탄소판의 경우에도 보강량(6장, 8장)에 따라 큰 차이가 발생하지 않은 것으로 나타났다. 한편, 탄소판 보강의 경우, 탄소섬유에 비하여 보강성능이 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.
- 2) 에폭시 주입 시 주의사항; 에폭시의 주입상태가 상대적으로 전단력의 전달에 미치는 영향이 큰 것으로 나타나 에폭시 선정 및 주입 시 ①경성 에폭시의 선정, ②초저점도의 에폭시 선정, 및 ③보강효과에 주의해야 할 것으로 판단된다. 탄소섬유보다 탄소판의 시공이 유리한 것으로 나타났으며, 추가 실험의 경우, 에폭시 주입효과의 제고 및 탄소판의 보강 위치에 대한 고려가 필요하다고 판단된다.