

철근 부식에 의해 단면이 손상된 R.C보의 보수성능평가

Evaluation Repair Performance of Damaged R.C Beams due to Reinforcement Corrosion

정 상 인*
Jeong, Sang In

홍 건 호**
Hong, Geon Ho

신 영 수***
Shin, Yeong Soo

정 란***
Chung, Lan

ABSTRACT

This paper was aimed to evaluate the structural performance of flexural members repaired by polymer cement and epoxy mortar at soffit. Main test variables were repair materials, ratio of reinforcement and additional reinforcing bars..

Test results shows that the repaired beams could change flexural capacity by materials and additional reinforcing bars. In polymer cement, the section repaired can carry same load, cracking moment and the flexural stiffness of the monolithic beams with same size. In epoxy mortar, all data were greater than the shotcrete.

However, note that epoxy mortar may conduct member into brittle failure mode.

Key word : Polymer Cement, Epoxy Mortar, Corrosion, Repair, Flexural Capacity

1. 서론

급속한 경제발전은 각종 사회기반의 시설 및 확충을 지속히 요구하여, 많은 구조물들이 건설되어왔다. 그러나 환경의 취약성, 콘크리트의 중성화 그리고 양질의 골재수급 문제로 인한 해사 사용의 증가는 철근의 부식을 유발하여, 구조물의 내구성 및 안전도를 저하시켜 사회적인 문제로 제기되고 있다.

철근의 부식으로 인한 단면적 감소와 2.5 배 이상의 체적팽창은 콘크리트 구조물의 균열 및 박리를 유발한다. 이러한 균열은 부식에 필요한 산소, 수분 및 염분의 침투를 더욱 용이하게 하여 철근의 부식을 가속화 시킴으로써 구조물의 안정성 및 수명에 심각한 영향을 주게 되며, 따라서 구조부재의 보수 및 보강을 필요로 하게 된다.

현재 국내에서 주로 사용되는 휨보강 방법은 강판이나 C.F.S 등을 이용한 외부접착 방법이 사용되고 있으나, 이 공법들은 최대 철근비의 초과, 계면파괴와 박리 등의 문제점이 있어, 단면을 수복하거나 증대하는 공법이 보다 효과적이라 할 수 있다.

본 연구에서는 철근 부식에 의해 단면이 손상된 R.C 보의 보수성능을 평가하기 위해 인위적인 철근의 전위차부식을 발생시켜 단면이 손상된 R.C보 시험체의 휨보수성능 평가 실험을 수행함으로써 변형에폭시계 및 폴리머 시멘트계 재료의 구조적 타당성과 보수 설계 기준의 기초자료 확보에 본 연구의 목적이 있다.

* 정희원, 호서대학교 건축학과 석사과정

** 정희원, 호서대학교 건축학과 교수

*** 정희원, 이화여대 건축학과 교수

**** 정희원, 단국대학교 건축학과 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구를 실행하기 위한 실험장치도는 다음의 그림 1 같으며, 시험체는 전설부 규준인 [극한 강도 설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계 규준]에 의해 설계되었으며 단면 20×30 cm, 스패น 4.0m (순스패น 2.8m)인 장방향 복근보형 시험체로 제작하였다. 인위적인 철근 전위차부식을 발생시켜, 철근의 단면적 감소 및 콘크리트 단면의 손상을 유도한 후, 1차 휨성능 실험이후 다시 하중을 제거하고 손상단면의 보수작업을 실시하였다.

이에 대한 보수방법으로 시험체의 손상된 콘크리트 하부단면을 제거하고 그라인딩 및 분무식 SEAL 재를 사용하여 철의 녹을 제거한 후, 보수재료로 다시 단면을 복구하였으며 이에 사용된 보수재료의 물리적 성질은 다음의 표 2 와 같다.

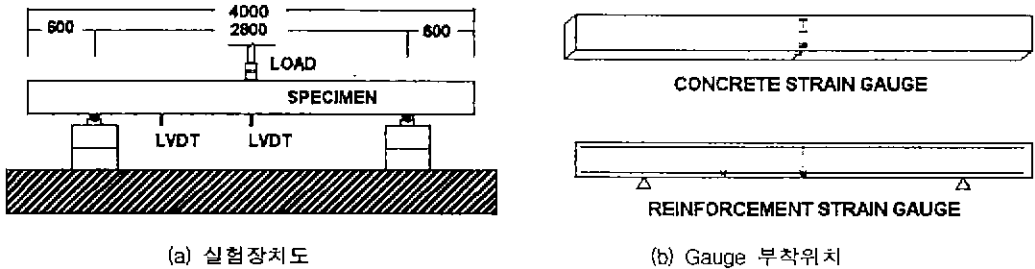


그림 1. 실험장치 구성도

시험체는 보강재료, 철근량 및 추가 보강철근 배근의 유무 등 3 개의 주요 변수를 갖는 총 4 개의 시험체를 제작하였다. 측정된 자료를 바탕으로 보수성능의 유효성 평가와 보수된 부재의 극한내력, 휨강성의 변화를 평가하도록 하였다.

또한 균열의 발생, 진전 양상 및 보수계면의 거동을 조사하고 철근콘크리트 규준식에 의한 휨모멘트 이론값과 비교하여 부재의 파괴양상을 분석하도록 하였다.

표-1 시험체의 구성

| 구분 | 시험체치수 | 인장철근 | 피복두께 | 부식비율 | 보강 재료 | 보강 방법 |
|----------|-----------|-------|------|------|-------|----------------|
| EA II-0 | 20×30×400 | 2-D16 | 3cm | 20 % | 재료 A | 피복제거 후 단면보수 |
| SA II-0 | 20×30×400 | 2-D16 | 5cm | 20 % | 재료 B | 피복제거 후 단면보수 |
| EB III-2 | 20×30×400 | 2-D19 | 3cm | 25 % | 재료 A | 추가철근 배근(2-D10) |
| SB II-2 | 20×30×400 | 2-D19 | 5cm | 20 % | 재료 B | 추가철근 배근(2-D10) |

※ 시험체명 E A I - 0

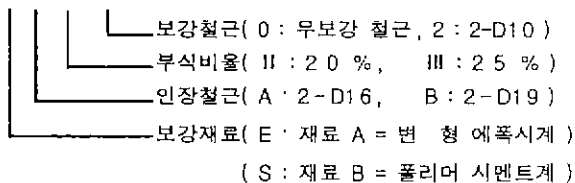


표-2 재료의 물성

| 구 분 | 콘크리트 | 철근 (f_y) | 재료 A | 재료 B |
|------|----------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------|
| | | | 에폭시 모르타르 | 폴리머계 시멘트 |
| 설계강도 | 293 $kg\cdot f/cm^2$ | 4310 $kg\cdot f/cm^2$ | 102.7 $kg\cdot f/cm^2$ (인장) | 285.6 $kg\cdot f/cm^2$ |
| | | | 1110.5 $kg\cdot f/cm^2$ (압축) | |

2.2 실험방법

시험체는 그림 1 과 같은 단순보 상태로 중앙점 가력을 실시하고, Strong Frame 상부에 부착한 오일잭 하단에 로드셀을 설치하여 재하하중을 기록하였다. 부재의 강성 및 사용성의 평가를 분석하기 위해 시험체 스패의 중앙 및 1/4 지점에 LVDT를 설치하여 수직 처짐을 측정하였다. 부재 내부의 철근과 표면의 콘크리트에는 게이지를 부착하여 변형도를 측정할 수 있도록 한다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 단면 보수에 따른 내력보강 효과

폴리머 시멘트계와 변형 에폭시계 재료로 보수된 R.C 보의 휨 성능 평가를 위해 실행한 시험체의 하중에 따른 실험결과는 다음의 그림 2와 표 3과 같다. 모든 시험체는 보수 전·후 시험체의 철근의 부식으로 인한 단면감소를 감안하여 계산한 공칭 모멘트 M_n 이상의 휨내력을 갖는 것으로 나타났다.

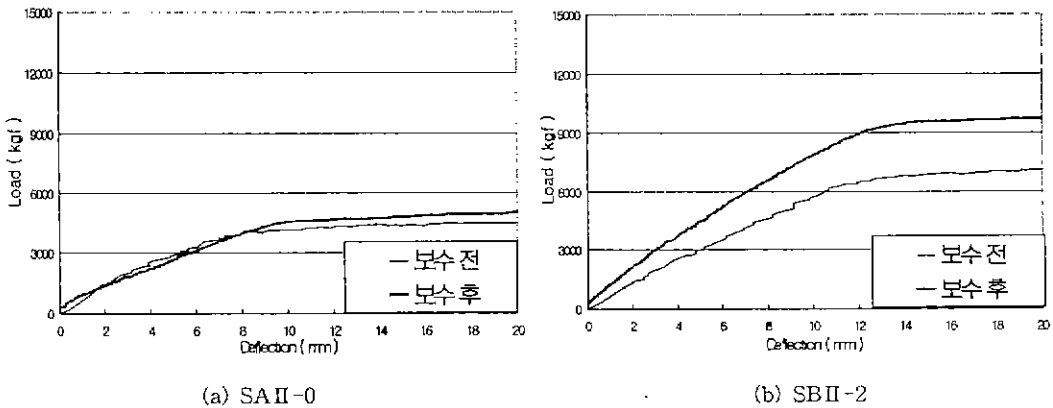


그림 2. 보강전·후 하중-처짐 곡선

보수재료에 따른 시험체의 휨내력은 재료 B로 보수된 경우, SAII-0, SBII-2 인 시험체는 부재의 공칭모멘트보다 각각 18%, 13% 이상의 내력이었으며, 휨내력이 보강이전의 시험체보다 각각 9%, 32%의 내력 증진 효과가 있었다. 재료 A로 보수된 시험체는 공칭모멘트 보다 EAII-0, EBIII-2에서 각각 52%, 33% 이상의 내력이며, 보수전 시험체와는 EAII-0의 경우 보수전 내력에 비해 39% 향상되었다. 추가철근을 배근하지 않고 보수재료가 다른 경우 재료 A로 보수된 시험체가 재료 B로 보수된 시험체보다 4 배의 휨내력 증가비를 나타내는 것을 알 수 있었다.

보강후 재료 B의 내력향상은 추가철근이 배근된 SBII-2 는 기본시험체인 SAII-0 내력의 3 배의 성능으로 향상되었으며, 따라서 재료 B에 의한 보수와 추가철근을 함께 사용하는 것은 효과적인 보수법이라고 판단된다.

재료 A의 경우 고인장 특성을 고려한 적절한 공칭모멘트의 산정이 요구되며, 보수후의 휨내력 증가비가 재료 B보다 큰 것을 알 수 있었다. 이는 변형 에폭시계 재료 특성으로 인장철근과의 우수한 부착능력과 인장강도가 폴리머계 시멘트의 3배 이상으로 상대적으로 고인장강도이기 때문이다.

추가철근이 보강되지 않은 EAII-0, SAII-0 시험체는 최대모멘트가 각각 4.99 tonf·m, 3.59 tonf·m이며, 부식으로 인한 결손 단면적에 상응하는 2-D10으로 보강된 시험체는 내력이 각각 8.36 tonf·m, 6.81 tonf·m로 향상되었다. 이것은 추가 배근된 철근이 보수재료와 함께 유효하게 휨내력에 저항하기 때문인 것으로 판단된다.

표 3. 실험결과

(단위: tonf·m)

| 시험체 명 | 최대 모멘트 | | | | 균열 모멘트 M_{cr} | | | | | |
|---------|---------|------|---------|------|-----------------|-------------|------|------|-------------|-------------|
| | 단면보수 전 | | 단면보수 후 | | 비율 (④/③) | 비율 (①/②) | ⑤계산 | ⑥실험 | 비율 (⑥/⑤) | 비율 (⑥/④) |
| | ① M_n | ② 실험 | ③ M_n | ④ 실험 | | | | | | |
| EAII-0 | 3.29 | 3.58 | 3.29 | 4.99 | 1.52 | 1.39 | 1.03 | 3.71 | 3.60 | 0.74 |
| SAII-0 | 3.03 | 3.30 | 3.03 | 3.59 | 1.18 | 1.09 | 1.03 | 0.63 | 0.61 | 0.18 |
| EBIII-2 | 4.63 | - | 6.30 | 8.36 | 1.33 | - | 1.24 | 7.98 | 6.43 | 0.93 |
| SBII-2 | 4.51 | 5.14 | 6.04 | 6.81 | 1.13 | 1.32 | 1.13 | 0.84 | 0.74 | 0.12 |

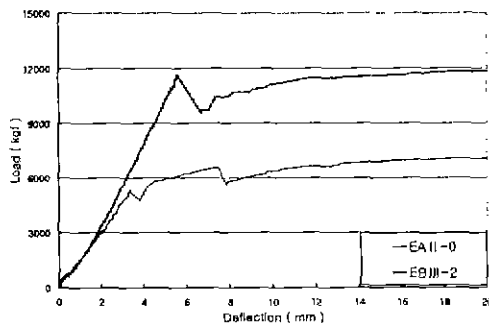
3.2 단면 보수이후의 부재 강성의 변화

변형에폭시계 및 폴리머계 시멘트 재료로 보수된 시험체의 강성 평가를 위한, 보수 이후의 하중-처짐 곡선과 초기 직선기울기는 재료별로 각각 그림 3, 표 4와 같다.

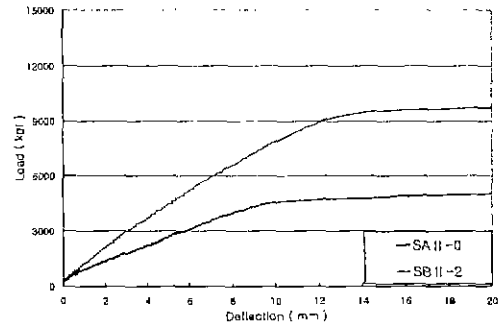
보수전·후의 관점에서, 강성은 SAII-0 시험체를 제외하고는 모두 증가했다. 재료 B의 경우는 보수후 시험체의 기울기 증가는 0.99~1.31 배로 보수전 시험체와 유사하나 재료 A는 2.58 배 증가했다.

보수재료별로 비교하면 시험체 EAII-0와 SAII-0에서, 초기기울기의 비율이 2.61 배로 나타났다. 이는 재료 B의 탄성계수는 콘크리트와 유사한 반면, 재료 A는 콘크리트 탄성계수의 약 1.8 배 이상의 값을 갖는 고강도 재료이기 때문인 것으로 판단된다.

추가철근양에 따른 변화는, 재료 A로 보수된 시험체인 EAII-0와 EBIII-2가 추가철근에 따른 철근비의 변화에 관계없이 동일한 강성을 나타냈다. 이것은 보수후의 강성이 주로 보수재료인 에폭시모르타르에 정해진다는 것을 의미한다. 반면, 재료 B로 보수한 시험체에는 SBII-2와 SAII-0는 기울기가 1.3 배로 증가하며 추가철근에 따른 강성의 변화를 나타내는데, 이는 초기재하 시점부터 보수재료인 재료 B와 철근이 같이 휨의 강성에 저항한다는 것으로 판단된다.



(a) 재료 A



(b) 재료 B

그림 3. 보수재료별 하중·처짐 곡선

재료 A로 보수한 시험체가 재료 B에 비해 초기 강성은 크나 부재 최대내력에서 보수재료인 변형에폭시계 재료가 초기균열과 함께 강성이 급격히 저하되는 취성적 파괴양상을 보였다. 이것은 고탄성 재료인 보수재에 응력이 집중되어 나타나는 결과이므로, 보수·보강재는 폴리머계 시멘트계 재료와 같이 원부재인 콘크리트의 탄성계수값과 유사한 재료가 응력 집중을 피하고 연성파괴를 유도할 수 있을 것으로 판단된다.

표 4. 하중-처짐 곡선의 기울기

| 구 분 | 접선기울기 | | 비 율 (② / ①) |
|---------|--------|--------|---------------|
| | ① 보수 전 | ② 보수 후 | |
| EAII-0 | 656 | 1696 | 2.58 |
| SAII-0 | 442 | 436 | 0.99 |
| EBIII-2 | - | 2297 | - |
| SBII-2 | 551 | 772 | 1.31 |

3.3 단면 보수이후의 균열양상 및 파괴양상

보수시험체의 각각의 파괴양상은 그림 4와 같다. 시험체는 균열 발생 모멘트와 최대휨모멘트를 비교하면, 재료 A의 경우 70~90 %에서 초기 균열이 발생하여 급격한 취성파괴 양상을 보였다. 재료 B는 M_{cr} 보다 다소 작은 0.63 tonf·m, 0.84 tonf·m에서 초기균열이 발생하였으며, 재료 A는 M_{cr} 의 4배 이상의 값을 나타냈다.

재료별 균열양상은, 재료 A 보수한 시험체는 그림 3에서와 같이 EAII-0, EBIII-2에서 각각 5.21 tonf, 11.41 tonf의 하중에서 둔탁한 소음을 동반한 초기균열을 발생하며 처짐값의 급격한 증가를 보인다. 초기균열은 보수단면 이상의 길이이며 보춤의 2/3 이상의 길이까지 진행되는데 최대 휨내력에 이르면 3~4 mm 까지 폭이 커지며 소수의 균열들만이 가력점들을 향해 분포, 진전되면서 종국에는 파괴에 이른다. 폴리머계 시멘트계는 소음이나 급격한 균열없이 전 시간에 걸친 전형적인 휨균열이 고르게 발생하였다.

추가철근이 배근된 시험체는 재료 A, 재료 B 모두 다수의 균열을 일으키는 양상을 나타내지만 재료 B의 경우는 전 시간에 걸친 균열분포를 보인 반면, 재료 A로 보수한 시험체는 중앙을 중심으로 순지간의 1/2 되는 폭으로 발생하였다.

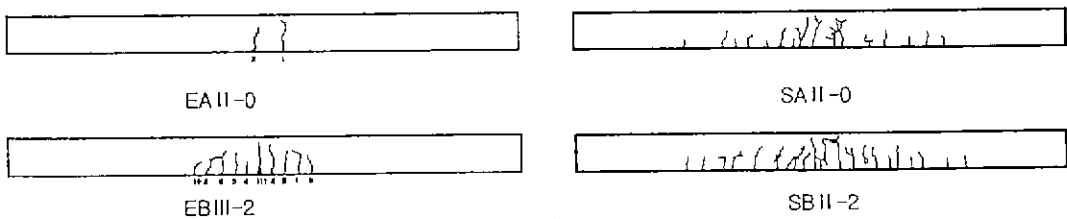


그림 4.

계면의 거동은 모든 시험체가 부재의 휨파괴시까지 원부재와 보수재료가 일체로 거동한다. 재료 B는 원부재와 동일한 탄성계수로써 부재가 일체로 거동한 것으로 판단된다. 재료 A는 보수면의 부착력, 원균열들사이의 점착력과 재료의 고인장 특성으로 인해 부재의 파괴시까지 원부재와 일체로 거동한 것으로 판단된다.

따라서 단면을 제거하고 수복한 경우에는 재료 A 및 재료 B로 보수된 부재는 모두 계면파괴 없이

종국휨내력까지 저항하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

- 1) 폴리머계 시멘트는 철근비와 보강철근비에 관계없이 최초 동일한 단면성능을 갖는 시험체와 동일하므로 휨 강도의 규준식 이용이 적절하나, 변형 에폭시계는 그보다 높은 내력을 나타내므로 재료의 고인장특성을 고려한 산정이 요구된다.
- 2) 보수·보강후 부재의 강성은 폴리머계 시멘트는 보수전과 유사하나 변형 에폭시계의 경우 2 배 이상의 강성을 나타내며, 이에 따라 동일 하중에 대한 시험체의 처짐도 감소한다.
- 3) 보수재료의 고인장·탄성계수의 차이는 부재의 극한내력을 결정지을 뿐 아니라, 파괴시의 취성적인 모드를 결정짓게되므로 보수재료는 모재의 탄성계수와 가까운 재료가 연성파괴에 유리하다.
- 4) 폴리머계 시멘트, 변형 에폭시계 모두 보수계면은 파괴시까지 일체로 거동하나, 에폭시 모르타르의 경우 인장부에서 발생한 일부의 균열들은 계면을 따라 진전되는 미소한 계면파괴도 있었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 연구비 지원과 (주) 태창 S.M.S, (주) 유크리드 코리아의 시험체 보강지원에 의해 이루어 졌음을 밝히며, 관계자 여러분의 도움에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 홍건호, 조하나, 신영수, 정혜교, "변형에폭시계 재료를 사용한 하부층대 보의 구조적 성능", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제 10권 2호, 1998.11
- 2) 한복규, 홍건호, 신영수, 조하나, "재하상태에 따른 강판보강공법의 휨 보강효과", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제 11권 2호, 1999.11
- 3) 김병국, 신영수, 홍기섭, 이차돈, 최왕철, "보수·보강 철근콘크리트 보의 휨 성능" 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제 7권 2호, 1995.11
- 4) 건설교통부, "극한 강도 설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계 규준 및 해설", 1990