

철근콘크리트 구조물의 보수공법 연구(Ⅲ)

- 정·동적 휨특성 연구 -

Study on the Repair Method of R/C Structures(Ⅲ)

심 종 성¹⁾ 홍 영 균²⁾ 황 의 승³⁾

Sim, Jongsung Hong, Young Kyun Hwang, Eui Seung

배 인 환⁴⁾ 이 은 호⁵⁾

Bae, In Hwan Lee, Eun Ho

ABSTRACT

Concrete structures need repair and rehabilitation due to functional deficiencies such as cracks, scaling and spalling. Loss of section such as spalling is caused by corrosion of reinforcing bar, fire, temperature change, poor design and etc. This study aims to examine the characteristics of polymer(epoxy) and polymer-cement(latex) for repair materials and to provide the proper repair scheme through static and fatigue tests. Totally 12 beams were tested. Results from static and fatigue tests of beams repaired with polymer and polymer-cement were compared.

1. 서론

철근 콘크리트 구조물은 시공이 간편하고 그 수명이 오래 지속되기 때문에 건설분야에서 상당한 비중을 차지하고 있으나 시공전, 후에 발생하는 여러가지 요인으로 인해 성능저하 즉, 균열, 박리 및 표면붕괴등이 발생하여 보수·보강해야 하는 사례가 늘고 있다. 보수공법은 주로 박리가 발생된 부위에 적용되며 박리의 원인으로는 철근의 부식(화학작용), 화재나 물리적인 충격, 온도변화, 동결융해, 불량한 설계세목등을 들 수 있다.

본 연구에서는 보수재료로 사용하는 유기재 보수 재료인 폴리머계(Epoxy)와 폴리머-시멘트(Latex)계로 보수한 철근콘크리트보의 정·동적 실험을 통하여 보수재료의 성능을 평가하고 최적 보수방법을 제안하는데 그 목적이 있다.

2. 실험계획

2.1 서언

본 연구에서는 인장부위가 결손된(5cm) 철근 콘크리트 단순보를 제작하여 2가지 보수재료, 즉 폴리머-시멘트계(Latex)와 폴리머계(Epoxy)로 보수한 후 다음과 같이 실험하였다.

2.2 실험 변수

본 연구에서는 보수재료, 보수깊이 및 응력수준을 변수로 하여 실험하였다. 보수재료는 폴리머-시멘트계(Latex)와 폴리머계(Epoxy)재료이며, 보수 깊이는 인장부위 5cm(길이는 150cm), 응력수준은 정적실험으로 부터 도출된 파괴강도의 60, 70 및 80% 이다. 시험체의 갯수는 정적시험체 3개(기본시험체, 폴리머-시멘트계 및 폴리머계로 보수한 시험체 각 1EA)와 피로 시험체 9개(기본 시험체 3EA, 폴리머-시멘트계 및 폴리머계로 보수한 시험체 각각 3EA)가 제작되어 총 12개의 시험체가 제작되었다. 변수별 시험체의 현황은 표 2.2.1 과 같다.

- 1) 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 부교수
- 2) 정회원, 홍익대학교 건축학과 조교수
- 3) 정회원, 경희대학교 토목공학과 조교수
- 4) 한양대학교 토목공학과 박사과정
- 5) 한양대학교 토목공학과 석사과정

표 2.2.1 시험체명 및 변수

보강 재료	보강 깊이	정적 시험체	동적 시험체	
		시험체명	시험체명	응력수준
CONT	-	CON-S	CON-1	80
			CON-2	70
			CON-3	60
Latex	인장 5 cm	T5L	DT5L1	80
			DT5L2	70
			DT5L3	60
Epoxy	인장 5 cm	T5E	DT5E1	80
			DT5E2	70
			DT5E3	60

표 3.2.2 폴리머계와 폴리머-시멘트계 보수재료의 성질

구분	폴리머계	폴리머-시멘트계
압축강도 (kg/cm ²)	550~1,100	100~800
탄성계수 (×10 ³ (kg/cm ²))	15~200	10~300
휨강도 (kg/cm ²)	250~500	60~150
인장강도 (kg/cm ²)	80~200	20~80
열팽창계수	25~30×10 ⁻⁶	8~20×10 ⁻⁶
흡수율 (27℃, 7일간%)	0~1	0.1~0.5
강도발현 (20℃)	2~48시간	1~7주

2.3 사용재료

본 실험에서는 시험체 제작에 사용된 콘크리트와 철근외에 결손된 구조물의 보수를 위해 폴리머-시멘트계(Latex), 폴리머계(Epoxy) 등을 사용하였으며 물성을 항목별로 살펴보면 다음과 같다.

2.3.1 콘크리트 및 철근

본 실험에서 사용한 콘크리트는 설계강도가 210 kg/cm² 으로 설계된 레미콘제품을 사용하였다. 콘크리트의 재령 28일 압축강도는 실험결과 289kg/cm² 로 다소 크게 나타났고 슬럼프량은 22로 나타났다.

시험체의 배근에 사용된 철근은 설계항복응력 4000 kg/cm² 인 D10, D13 철근을 사용하였다.

2.3.2 폴리머계(Epoxy)와 폴리머-시멘트계(Latex)

T사 제품인 폴리머계(Epoxy)와 S사 제품인 폴리머-시멘트계(Latex)의 물리적인 성질은 다음 표 3.2.2와 같다.

2.4 시험체 제작

철근콘크리트보의 시험체는 단면치수 15×25 cm, 인장철근 2-D13, 압축철근 2-D10, 순지간 길이 2m, 총길이 2.40m로 제작되었다. 철근량은 평형철근비의 33%를 사용하였고 시험체의 전단파괴를 막기위해 D10 스티럽을 20cm간격으로 배근

하였다. 시험체제작은 먼저 인장부위에 길이 150cm, 깊이 5cm를 스티로폴로 채우고 Ready Mixed Concrete 를 거푸집에 타설하여 인장부위가 결손된 시험체를 제작하였다.

재령 28일 이후, 보수시험체 제작을 위하여 결손된 부위에 쇄석골재를 충전시키고 폴리머계(Epoxy)와 폴리머-시멘트계(Latex)등의 보수재를 주입하였다. 양생은 온도에 대한 영향을 고려하여 비닐과 온풍기 등으로 적정온도를 유지하였다.

2.5 가력방법 및 측정

2.5.1 정적파괴실험

파괴실험시 하중재하 방법은 그림 2.5.1과 같이 3점 휨하중법으로 하였으며, 재하하중은 유압잭 하부면에 설치된 load cell 로 계측하였다. 하중재하는 0.5 ton간격으로 재하하였으며 최대하중 단계에서는 지간 중앙부의 처짐이 약 2mm간격이 되도록 처짐제어 방식으로 가력하였다. 측정방법은 하중단계별로 하중-중앙점처짐, 하중단계별 콘

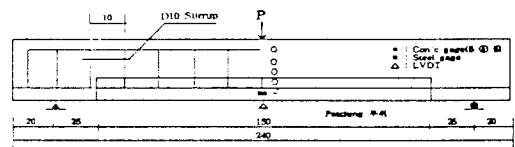


그림 2.5.1 파괴시험 및 피로시험의 개략도

크리트응력과 하중-철근의 변형율을 각각 측정하였다.

철근의 변형계이저는 그림 2.5.1에서 나타난 것과 같이 중앙부에 2개, 콘크리트계이저는 중앙에서 5cm 떨어진 위치에 5개 그리고 중앙부의 처짐을 측정하기 위하여 지간 중앙에 변위계(LVDT)를 설치하였다.

2.5.2 피로시험

피로시험은 Shimadzu사 제품인 50tonf 용량(strock = $\pm 50\text{mm}$)의 피로시험기를 사용하였으며 단진재하로 가력하였다. 1회재하시에 정적실험을 실시한후, 10회까지 정적으로 재하하였다. 그 이후는 반복하중의 최소값과 최대값을 일정하게 유지하면서 2 Hz의 속도로 재하하였다. 주기적으로 최소하중에서 최대하중까지의 균열성장과정 및 중앙처짐, 콘크리트의 변형을 및 철근의 인장 변형을, 그리고 반복회수에 따른 철근의 잔류 변형을 등을 DAS-ON(Data Aquisition System)을 이용하여 측정하였다. 피로시험의 개략도는 그림 2.5.1과 같다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 정적파괴실험

3.1.1 파괴하중

정적시험 결과 기본시험체, 폴리머-시멘트계 및 폴리머계 보수시험체의 파괴강도는 각각 5.1ton, 4.87ton 및 4.6ton으로 나타났다. 기본시험체에 대한 보수시험체의 파괴강도비는 각각 0.95와 0.9로써 폴리머계 보다 폴리머-시멘트계 보수가 약간 높은 것으로 측정되었다. 표 3.1.1 는 정적파괴강도와 파괴양상을 정리한 것이다.

표 3.1.1 시험체의 파괴강도 및 파괴양상

Specimen	Patch Size (cm)	Failure Load (tonf)	Failure Load	Failure Mode	Interface Bond Failure
			Patch Beam Failure Load		
COM-S	-	5.10	1.0	Flexure	-
T5L	150×5	4.87	0.95	"	Miner
T5E	150×5	4.60	0.90	"	-

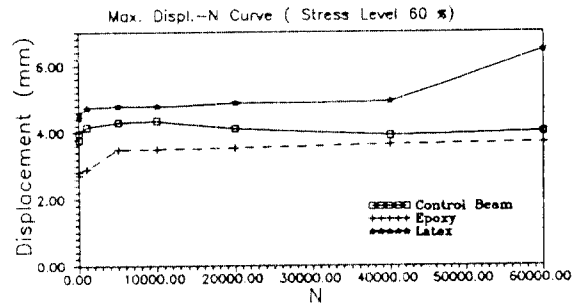
3.1.2 하중-처짐

기본시험체는 항복이후(약 3.7 ton 에서 6mm) 뚜렷한 연성을 보인후 파괴되며 최대처짐은 35 mm이다. 폴리머-시멘트계(Latex) 보수시험체는 항복이후(약 3.8 ton 에서 7.5 mm) 역시 뚜렷한 연성을 나타내고 있으며 파괴시 최대처짐은 약 24mm 였고 폴리머계(Epoxy) 보수시험체는 파괴시 최대처짐은 25mm였다. 따라서 기본시험체의 최대처짐에 대한 보수시험체의 최대처짐비는 폴리머-시멘트계(Latex)와 폴리머계(Epoxy)의 경우 각각 0.69와 0.70이다.

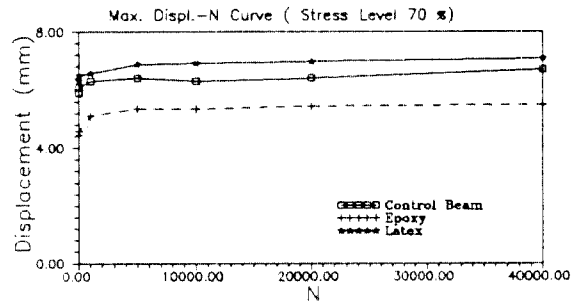
3.2 피로시험

3.2.1 보수재료별 반복횟수에 따른 중앙최대처짐

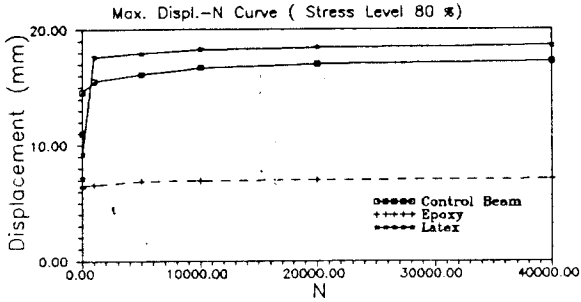
반복횟수에 따른 하중-중앙점의 처짐은 응력수준에 관계없이 폴리머계 보수시험체가 기본시험체나 폴리머-시멘트계 보수시험체보다 작은 것으로 나타났다. 이는 실험결과 강성도는 기본시험체와 폴리머-시멘트계 보수시험체가 거의 유사한 경향을 보이고 있는 반면, 폴리머계 보수시험체의 강성도는 상대적으로 크게 나타났다. 폴리머-시멘트계 보수시험체에 대한 폴리머계 보수시험체의 최대처짐비는 응력수준 80, 70 및 60에서 각각



a) 응력수준 60%



b) 응력수준 70%

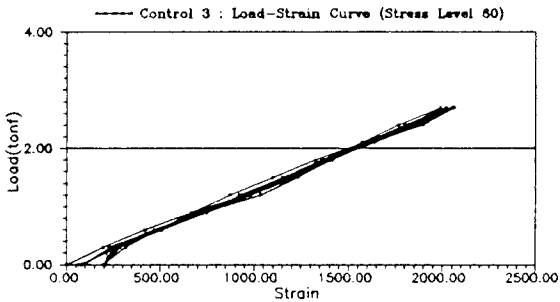


c) 응력수준 80%

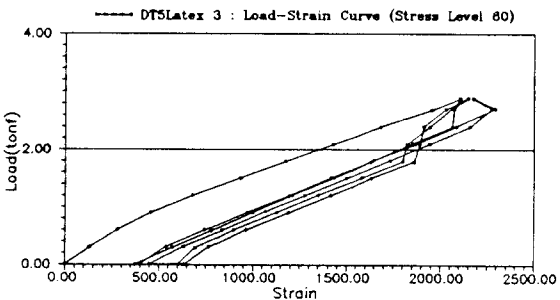
그림 3.2.1 반복횟수에 따른 중앙최대처짐선도

73%, 80% 및 62% 수준으로써 응력수준이 증가함에 따라 피로거동이 저하되는 것으로 나타났다. 그림 3.2.1은, 반복횟수에 따른 중앙최대처짐선도이다. 그림에서 나타난 것과 같이 응력수준이 높아질수록 폴리머-시멘트(Latex)로 보수한 시험체는 기본시험체와 유사한 거동을 보였다. 따라서 폴리머-시멘트(Latex)재료가 폴리머(Epoxy)재료보다 보수효과가 좋은 것으로 나타났다.

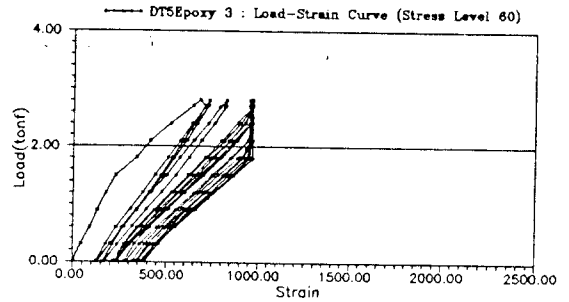
3.2.2 보수재료별 반복횟수에 따른 하중-변형률 반복횟수에 따른 하중-변형률 선도는 하중-



a) 기본시험체



b) 폴리머-시멘트계(Latex)



c) 폴리머계(Epoxy)

그림 3.2.2 반복횟수에 따른 하중-변형률선도

처짐선도와 유사하게 나타났다. 폴리머-시멘트계 보수시험체가 폴리머계 보수시험체보다 기본시험체의 거동과 유사하게 나타났다.

그림 3.2.2는 응력수준 60%에서의 반복횟수에 따른 하중-변형률이다.

3.2.3 보수재료별 S-N 선도

구조물의 피로거동에 관한 작용응력과 반복횟수의 관계로부터 나타낸 S-N 선도 또는 Wöhler 선도는 어느 특정한 반복회수 N에 대한 응력수준 값인 피로강도를 예측하는데 적용된다.

대부분의 강재들은 이와 같은 피로한도(강도)를 가지고 있지만 콘크리트는 강재와는 달리 미리정한 반복회수에 대한 피로강도를 사용하고 있다. 피로시험결과에서 피로수명과 피로강도와의 관계식은 다음과 같은 지수형태의 함수로 나타낼 수 있다.

$$R = K \times \text{Exp}(-C \times \log N) \quad (\text{식 3.2.1})$$

여기서, R은 피로강도, N은 피로수명,

K & C는 실험상수

위 식은 다음식으로 치환될 수 있다.

$$Y = \alpha + \beta \times \log N \quad (\text{식 3.2.2})$$

여기서, $\alpha = \log R$, $\beta = C \times \log e$, $Y = \log K$

본 연구에서는 보수재료별 정적하중에 대한 피로하중 백분율(S)을 피로수명(N)과 비교, 분석하였으며 그림 3.2.3은 이들의 관계를 나타낸 것이다. 피로실험 결과 각 시험체에 대한 피로수명

과 피로 강도와와의 관계는 회귀분석을 통하여 고찰하였으며 표 3.2.1과 같은 식을 얻을 수 있다.

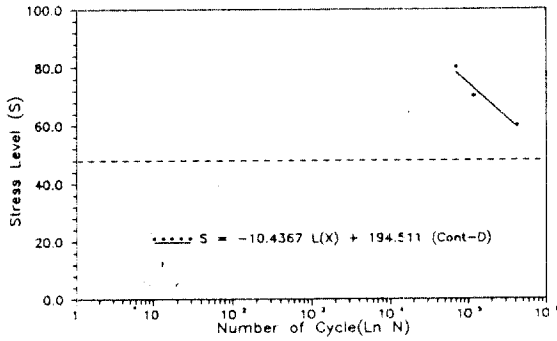
상기식에서 반복횟수 100만회에 대한 피로강도는 기본시험체(CONT-B), 폴리머-시멘트계 보수(DT5L) 및 폴리머계 보수(DT5E)시험체에서 각각 54.4%, 47.3% 및 31.1%로 나타났다. 철근 콘크리트 보의 100만회에 대한 최대응력 수준은 연

최대정적강도의 50 % 내외 또는 60~70% (Hsu)로 알려져 있다.

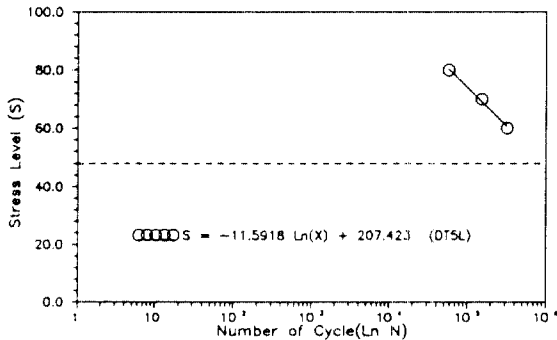
기본시험체에 대한 폴리머-시멘트계 보수 및 폴리머계 보수시험체의 피로 강도비는 각각 87%, 57%로 나타났다. 따라서 폴리머계 보수재의 피로 강도는 폴리머-시멘트계 보수재의 약 66% 정도 수준으로서 폴리머계 보수재보다 폴리머-시멘트계 보수재가 피로성능이 우수한 것으로 나타났다.

표 3.2.1 시험체별 회귀분석 결과

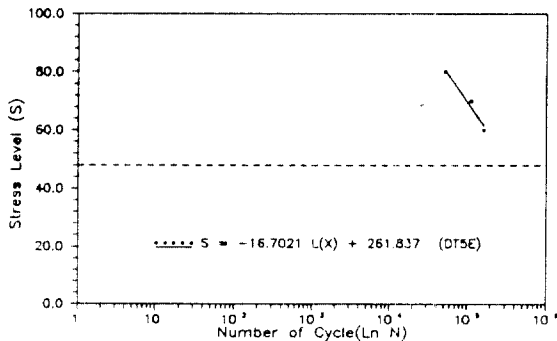
Specimen	응력 수준	파괴시 횟수(N)	회귀분석 결과식
CONT-B	80	69840	$S = -10.14367 \ln(N) + 194.511$
	70	117550	
	60	425882	
DT5E	80	51210	$S = -16.7021 \ln(N) + 261.837$
	70	111080	
	60	162040	
DT5L	80	57300	$S = -11.5918 \ln(N) + 207.423$
	70	152790	
	60	318490	



a) 기본시험체



b) 폴리머-시멘트계(Latex)



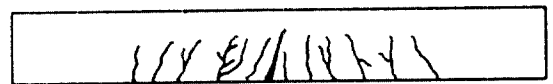
c) 폴리머계(Epoxy)

그림 3.2.3 S-N Curve

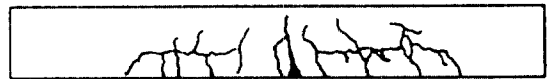
구자들마다 다르게 보고하고 있으나, 일반적으로

3.2.4 보수재료별 반복횟수에 대한 피로균열양상

기본시험체와 폴리머계 보수시험체에 대한 균열진전형상은 그림 3.3.1에서와 같이 전형적인 휨 파괴 형태를 나타내고 있으나 폴리머-시멘트계



a) 기본시험체



b) 폴리머-시멘트계(Latex)



c) 폴리머계(Epoxy)

그림 3.3.1 피로균열양상(응력수준70%)

보수시험체는 콘크리트모체(matrix)와 보수부위의 접합면(interface)에서 접합면을 따라 균열이 진전되었다. 100만회에 대한 피로강도는 3.2.3절에서 명기하였듯이 폴리머-시멘트계와 폴리머계 보수시험체보다 피로성능이 우수하였음을 감안할 때 이는 에너지 해방율(available energy release rate)개념으로 피로의 점진적 손상이 균열에 의해 어느 정도 제어되었다고 사료된다.

$$g = \frac{f^2}{2} \frac{d\lambda}{dc} \quad (\text{식 3.3.1})$$

여기서, f = 외력, $d\lambda$ = 컴플리언스 변화량
 dc = 미소균열

식 3.3.1에서 일정한 외력에 대해서 $f^2/2$ 는 상수로 간주되므로 에너지 해방율 g 는 컴플리언스 변화량 $d\lambda$ 의 함수로 된다. 여기서 컴플리언스(λ)는 강성(k)의 역수로 균열의 길이가 커질수록 시험편의 강성은 낮아져서 변형하기 쉬우므로 증가하게 된다.

$$f = ku, \quad \lambda = \frac{1}{k} = \frac{u}{f} \quad (\text{식 3.3.2})$$

여기서, f = 외력, u = 변위

4. 결론

본 연구에서 폴리머계 및 폴리머-시멘트계로 보수한 시험체의 피로시험으로 부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 정적파괴실험결과, 파괴강도는 폴리머계 보다 폴리머-시멘트계 보수시험체가 약간 높은 것으로 측정되었고 파괴시 최대처짐은 거의 유사하게 나타났다.
2. 피로시험결과, 반복횟수에 따른 하중-중앙처짐은 응력수준에 관계없이 폴리머-시멘트계 보수시험체가 큰것으로 나타났고 하중-변형률 관계는 폴리머-시멘트계 보수시험체가 기본시험체의 거동과 유사하게 나타났다.
3. 구조물의 피로거동에 관한 작용응력과 반복횟수의 관계로 부터 나타난 S-N선도로 100만회

에 대하여 예측한 피로강도는 폴리머-시멘트계 보수시험체가 폴리머계 보수시험체보다 우수한 것으로 나타났다.

4. 피로균열양상은, 기본시험체와 폴리머계 보수시험체는 전형적인 휨파괴의 형태를 나타냈으나 폴리머-시멘트계 보수시험체는 접합면을 따라 균열의 발생되었고 피로성능을 감안할 때 이는 피로의 점진적 손상이 균열에 의해 어느정도 제어되었다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 94년도 건설기술연구개발사업으로써 수행된 연구임을 밝히며, 쌍용양회공업(주)의 협동으로 수행되었고 연구원은 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. ACI Committee 215, "Consideration for Design of Concrete Structures Subjected to Fatigue Loading," (ACI 215R-74), American Concrete Institute, Detroit, 1986, 25pp.
2. A.Alliche and D.Francois, "Damage of Concrete in Fatigue", Journal of ASCE, Vol.118, No.11., 1992, pp. 2176~2190.
3. 정종현, "철근콘크리트 휨 부재의 피로거동에 관한 실험적 연구", 한양대학교 대학원 토목공학과 박사학위 논문, 1992. 6.
4. 김진근, 김윤용, "고강도 콘크리트의 피로거동에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회논문집, 제5권, 제4호, 1993, pp. 179~187