

# 유기 및 무기재료로 보수된 R/C보의 동적거동특성 비교

## An Experimental Study on the Dynamic Behavior of R/C Beams Repaired by Concrete-Polymer Composites

심종성<sup>1)</sup> 홍영균<sup>2)</sup> 황의승<sup>3)</sup>  
Sim, Jongsung Hong, Young Kyun Hwang, Eui Seung  
배인환<sup>4)</sup> 이은호<sup>5)</sup>  
Bae, In Hwan Lee, Eunho

### ABSTRACT

Deteriorated concrete components are repaired using various repair materials for preventing functional deficiencies. However, the durability performance of these materials is not very well investigated. This study aims to examine the dynamic behavior of R/C beams repaired by Polymer, Polymer-Cement and Cementitious material through dynamic test. Totally 18 repaired R/C beams were tested, and the results from dynamic test of beams repaired with various materials were compared.

### 1. 서론

철근콘크리트 구조물은 충격, 반복하중, 정적과 하중, 건조수축, 지속적인 하중하에서의 크리프, 온도변화 등 여러가지 원인으로 인해 균열이 발생된다<sup>3)</sup>. 균열이 발생된 부위는 화학작용으로 인해 철근의 부식을 초래하고 철근의 부식은 원래 체적의 8배 이상 증가시키기 때문에 박리가 발생하게 된다. 그러므로 균열로 인해 열화된 구조물은 기능적인 결함을 방지하기 위해 보수가 요구된다. 그러나, 이러한 보수재료의 내구성능을 위한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 특히 교량구조물은 반복적인 피로하중을 받게 되므로 이에 대한 보수재료의 내구성 확보가 요망되는바, 본 연구에서는 보수재료로 사용되는 유기계 보수재료(폴리머계, 폴리머-시멘트계) 및 무기계 보수재

료(시멘트계)로 보수한 R/C보의 동적실험을 통해 콘크리트 모체와 결합된 보수재료의 피로특성을 규명함으로써 동적하중을 받는 손상된 R/C 부재의 최적보수방법을 위한 기초자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

### 2. 실험계획

#### 2.1 개요

본 연구에서는 인장부위가 결손된(150×5cm) 철근콘크리트 단순보를 제작하여 3종 5가지 보수재료, 즉 유기재료(폴리머계, 폴리머계-시멘트계)와 무기재료(시멘트계)로 주입 또는 팻칭 등의 방법으로 보수한 시험체에 대하여 피로시험을 하였다.

#### 2.2 실험 변수

본 연구에서는 시험체의 크기, 보수깊이 및 길이 등은 각각  $h'/d=0.24$  ( $h'$ :보수깊이),  $l'/l=0.75$  이며 보수 부피비  $V'/V=0.15$  ( $V'$ :보수부피)로 일정하게 하였고 보수재료, 응력수준 등을 변수로 선정하였다. 보수재료는 폴리머계 2종(에폭시, 폴

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

리아스터), 폴리머-시멘트계 2종(라텍스, 프리믹스), 그리고 시멘트계 1종(그라우트)이고 시험체의 갯수는 보수재별로 각각 3개, 무보수시험체 3개로 총 18개의 시험편이 제작되었다. 응력수준은 정적실험으로 부터 도출된 정적파괴강도의 60, 70 및 80% 이다. 변수별 시험체의 현황은 표 2.2.1과 같다.

표 2.2.1 시험체명 및 변수

구분	계열	보수재료	시험체명	
			시험체명	응력수준
-	무보수	-	CON-1	80 %
			CON-2	70 %
			CON-3	60 %
유기재료	폴리머계	Epoxy	DT5L1	80 %
			DT5L2	70 %
			DT5L3	60 %
		Polyester	DT5E1	80 %
			DT5E2	70 %
			DT5E3	60 %
	폴리머-시멘트계	Latex	DT5L1	80 %
			DT5L2	70 %
			DT5L3	60 %
		Premix	DT5E1	80 %
			DT5E2	70 %
			DT5E3	60 %
무기재료	시멘트계	Grout	DT5E1	80 %
			DT5E2	70 %
			DT5E3	60 %

### 2.3 사용재료

본 실험에서 사용된 재료는 콘크리트와 철근위에 결손된 구조물의 보수를 위해 폴리계, 폴리머-시멘트계 및 시멘트계 보수재료를 사용하였으며 사용재료의 물성을 항목별로 살펴보면 다음과 같다.

#### 2.3.1 콘크리트 및 철근

본 실험에서 사용한 콘크리트는 설계강도가 210 kg/cm<sup>2</sup>으로 설계된 레미콘제품을 사용하였다. 콘크리트의 재령 28일 압축강도는 실험결과 220kg/cm<sup>2</sup>로 적절한 것으로 나타났고 슬럼프량은 22로 나타났다. 시험체의 배근에 사용된 철근은 설계항복응력 4000 kg/cm<sup>2</sup>인 D10, D13 철근을 사용하였다.

#### 2.3.2 보수재료의 물리적 성질

공시체의 실험결과, 보수재료의 물리적 성질은 표 2.3.1와 같다. 이 표에서 보수재의 가장 중요한 요소 중 하나인 부착강도는 폴리머-시멘트계가 다소 떨어지는 것으로 나타났다.

표 2.3.1 보수재료의 물리적성질(kg/cm<sup>2</sup>)

구분	폴리머계		폴리머-시멘트계		시멘트계
	Epoxy	Polyester	Latex	Premix	Grout
압축강도	797	704	286	383	597
탄성계수 (×10 <sup>5</sup> )	2.17	1.19	1.52	2.01	4.67
휨강도	238	222	62	42	109
인장강도	73	71	29	33	47
부착강도	98	63	24	17	21

### 2.4 시험체 제작

철근콘크리트 보시험체의 단면치수는 그림 2.4.1과 같이 15×25 cm. 인장철근 2-D13, 압축철근 2-D10, 순지간 길이 200cm, 총길이 240cm로 제작되었다. 철근량은 평형철근비의 33%를 사용하였고 시험체의 전단파괴를 막기위해 D10 스티럽을 10cm간격으로 배근하였다. 시험체제작은 먼저 인장부위에 길이150cm, 깊이 5cm를 스티로폼로 채우고 레미콘을 거푸집에 타설하여 인장부위가 결손된 시험체를 제작하였다. 재령 28일 이후, Premix보수재는 팻칭의 방법으로 보수하였고 나머지 시험체에 대해서는 결손된 부위에 쇠석골재를 충전시키고 보수재를 주입하는 방법으로 보수 시험체 제작을 완료하였다.



그림 2.4.1 시험체 형상

## 2.5 가력방법 및 측정

피로시험은 Shimadzu사 제품인 50tonf 용량 (stroke =  $\pm 50\text{mm}$ )의 피로시험기를 사용하였으며 단진재하로 가력하였다. 가력방법은 3점 휨재하시험으로 하였으며 1회재하시에 정적실험을 실시한후, 10회까지 정적으로 재하하였다. 그 이후는 반복하중의 최소값과 최대값을 일정하게 유지하면서 2 Hz의 속도로 재하하였다. 주기적으로 최소하중에서 최대하중까지의 균열성장과정 및 중앙처짐 등을 고찰하였으며 데이터 측정장비로는 DAS-ON(Data Aquisition System)을 사용하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 정적파괴양상

정적파괴시험 결과 파괴강도는 폴리에스터 보수시험체가 5.92ton으로 가장 크게 나타났고 프리믹스 보수시험체가 4.37ton으로 가장 작게 나타났으나 기본시험체의 강도와는 차이가 그렇게 크게 나타나지 않았다. 콘크리트 모체와 보수재의 접착면에서의 계면파괴는 에폭시를 제외한 보수재에서 인장철근이 항복한 상태에서 미세하게 발생하였다. 그러나, 팻칭의 방법으로 보수한 프리믹스 보수시험체는 보수재료의 부착강도가 시멘트계보다 상대적으로 작기 때문에 부착에 문제가 나타나 모체와 보수재의 계면에서 균열이 크게 발생되었다.

### 3.2 피로시험

#### 3.2.1 반복횟수에 따른 균열 및 파괴양상

응력수준에 관계없이 기본(무보수) 시험체와 에폭시, 폴리에스터 및 그라우트 보수시험체에 대한 균열진전양상은 전형적인 휨파괴 형태를 나타내고 있으나 폴리머-시멘트계인 라텍스 및 프리믹스 보수시험체의 경우 콘크리트 모체와 보수부위의 계면에서 계면을 따라 균열이 진전되면서 휨파괴 양상을 보였다. 그림 3.2.1은 응력수준 70%에 대한 보수재료별 반복횟수에 따른 피로균열진전양상이다. 여기서, N은 부재가 파괴될 때의 반복횟수를 나타낸 것이고 응력수준 60%와 80%에서의 균열진전양상도 응력수준 70%과 거의 유사하게 나타났다.

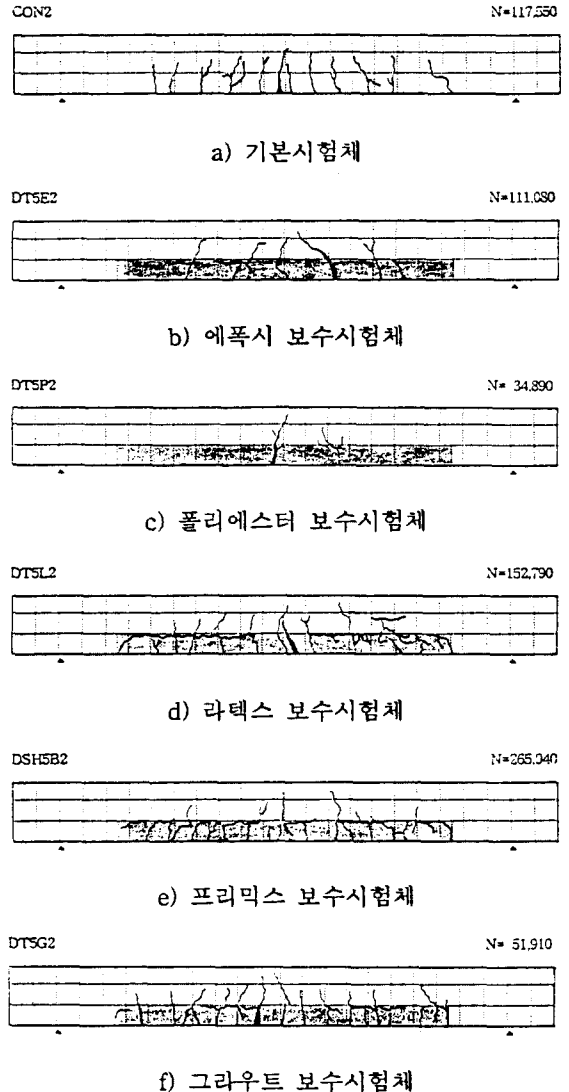


그림 3.2.1 피로균열양상(응력수준70%)

#### 3.2.2 반복횟수에 따른 하중-중앙최대처짐

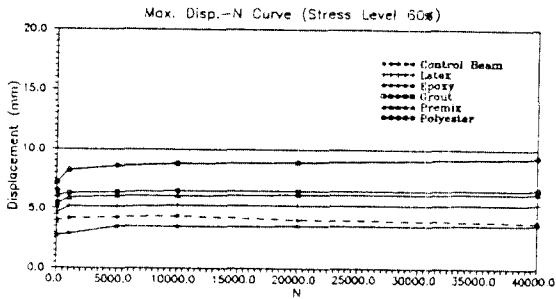
반복횟수에 따른 하중-중앙최대처짐은 응력수준에 관계없이 폴리에스터 보수시험체가 가장 크게 나타났고 에폭시 보수시험체가 가장 작은 것으로 나타났다. 그림 3.2.2는 응력수준 70%에서 4만회 까지의 보수재료별 반복횟수에 따른 하중-중앙최대처짐선도이다. 사용하중 상태인 응력수준 60%에서 에폭시, 라텍스, 프리믹스 및 그라우트로 보수한 시험체는 반복횟수가 증가함에 따라 기본시험체와 유사한 변형을 보였다. 균열이 진전

되는 응력수준 70%에서는 라텍스, 프리믹스로 보수한 시험체가 기본시험체와 가장 근사한 거동을 나타내었으며, 그라우트 보수시험체는 사용하중 이상에서 기본시험체보다 큰 처짐을 나타내었다. 그리고 응력수준 80%에서는 라텍스 보수시험체가 기본시험체와 가장 유사한 처짐경향을 보였다.

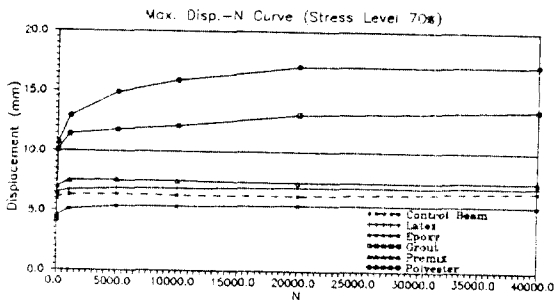
또한, 보수재료와 응력수준에 관계없이 반복횟수가 1회 일때 가장 큰 영구변형을 일으켰으며 이러한 현상은 그라우트 보수시험체에서 두드러지게 나타났다. 반복횟수의 증가에 대한 중앙처짐의 증가율은 반복횟수가 증가함에 따라 현저히 감소하는 경향을 보였다.

콘크리트는 금속과 달리 미리정한 반복횟수에 대한 피로강도를 사용하고 있다. 철근콘크리트 보의 100만회에 대한 최대응력수준은 연구자들마다 다르게 보고하고 있으나, 일반적으로 최대정적강도의 50%내외 또는 60~70%(Hsu)로 알려져 있다.<sup>(1)</sup>

피로시험 결과, 산출된 반복횟수 100만회에 대한 피로강도는 각각 기본(무보수)시험체 50.4%, 에폭시 보수시험체 50.9%, 폴리에스터 보수시험체 54.9%, 라텍스 보수시험체 47.3%, 프리믹스 보수시험체 50.9% 그리고 그라우트 보수시험체가 57.6%로 나타났다. 표 3.2.1은 시험체별 회귀분석 결과이다.



(a) 응력수준 60%



(b) 응력수준 70%

그림 3.2.2 하중-중앙최대처짐선도

### 3.2.3 보수재료별 피로강도

구조물의 피로거동에 관한 작용하중과 반복횟수의 관계로부터 나타난 S-N선도 또는 Wöber 선도는 어느 특정한 반복횟수 N에 대한 응력수준 값인 피로강도를 예측하는데 적용된다. 대부분의 금속들은 이와 같은 피로강도를 가지고 있지만

표 3.2.1 시험체별 회귀분석결과

구분	응력수준 (%)	파괴시회수 (N)	회귀분석 결과식
무보수	80	69,840	$S = -10.437 \times \ln(N) + 194.511$
	70	117,550	
	60	425,880	
에폭시	80	51,210	$S = -16.702 \times \ln(N) + 261.837$
	70	111,080	
	60	162,040	
폴리에스터	80	340	$S = -3.200 \times \ln(N) + 99.108$
	70	34,800	
	60	60,100	
라텍스	80	57,390	$S = -11.592 \times \ln(N) + 207.423$
	70	152,790	
	60	318,490	
프리믹스	80	107,140	$S = -13.270 \times \ln(N) + 234.272$
	70	265,940	
	60	471,420	
그라우트	80	460	$S = -3.014 \times \ln(N) + 99.200$
	70	51,910	
	60	176,390	

기본(무보수) 시험체에 대한 보수시험체의 피로강도비는 각각 에폭시 보수시험체가 0.62, 폴리에스터 보수시험체가 1.09, 라텍스 보수시험체가 0.94, 프리믹스 보수시험체가 1.01, 그리고 그라우트 보수시험체가 1.14 로 나타났다. 따라서, 피로수명 100만회에 대한 피로강도비교 결과, 폴리머-시멘트계 보수시험체가 기본시험체의 피로거동 특성과 가장 유사한 것으로 나타났다. 표 3.2.2는 피로수명 백만회에 대한 시험체별 피로강도 및 기본 시험체에 대한 피로강도비를 요약한 것이다.

표 3.2.2 피로수명 백만회에 대한 피로강도

구분 \ 시험체	무보수	에폭시	폴리 에스터	폴리 라텍스	프리 믹스	그라 우트
피로강도(%)	50.4	31.1	54.9	47.3	50.9	57.6
보수시험체	1.0	0.62	1.09	0.94	1.01	1.14
기본시험체						

#### 4. 결론

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

- 1) 피로하중하의 보수시험체의 균열 및 파괴양상에서, 응력수준에 관계없이 폴리머계와 시멘트계로 보수한 시험체는 전형적인 썸파괴 형태를 나타내고 있다. 반면에 폴리머-시멘트계로 보수한 시험체는 콘크리트 모체와 보수부위의 접합면에서 접합면을 따라 균열이 진전되면서 썸파괴에 이르는 양상을 보였다.
- 2) 피로하중하의 보수시험체의 중앙 최대처짐량에서, 응력수준에 관계없이 폴리에스터 보수시험체가 가장 크게 나타났고 에폭시 보수시험체가 가장 작은 것으로 나타났다. 사용하중 상태인 응력수준 60%에서는 모든 보수시험체가 기본시험체와 유사한 경향을 보였으나, 응력수준이 증가할 수록 폴리머-시멘트계 보수시험체만이 기본시험체와 유사한 경향을 보였다.
- 3) 보수시험체에 대한 회귀분석 결과로 부터, 피로수명 100만회에 대한 피로강도 비교결과 콘크리트 모체와 유사한 재료적 특성을 지닌 폴리머-시멘트계 보수시험체가 기본시험체의 피로저항 특성과 가장 유사한 것으로 나타났으나 낮은 부착강도로 인해 접착제면에서 균열이 발생하였고 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

1. Hsu, T. C., "Fatigue of Plain Concrete", ACI Journal, Vol. 78, July-August, 1981, pp. 292~305
2. X. P. Shi, T. F. Fwa, and S. A. Tan, "Flexural Fatigue Strength of Plain Concrete", ACI Material Journal, Vol. 90, No. 5, 1993, pp. 435~440
3. I.A.Basunbul, A.A.Gubati, G.J.Al-Sulaimani and M.H.Baluch, "Repaired Reinforced Concrete Beams", ACI Materials Journal, Vol. 87, No. 4, July-Aug., 1990, pp. 348~354
4. C.Vipulanandan and Eliza Paul, "Performance of Epoxy and Polyester Polymer Concrete", ACI Materials Journal, Vol. 87, No. 3, May-June, 1990, pp. 241~251
5. ACI Committee 215, "Considerations for Design of Concrete Structures Subject to Fatigue Loading", 1986, pp. 215R-1~215R-25
6. 연구석 외 5명, "철근콘크리트 구조물의 보수 공법연구(I) -보수재료 및 공법-" 한국콘크리트학회, 봄학술발표회 논문집, 제7권, 제1호, 1995년 5월, pp.212~218
7. 심종성 외 4명, "철근콘크리트 구조물의 보수 공법연구(III) -정·동적 휨특성 연구-" 한국콘크리트학회, 봄학술발표회 논문집, 제7권, 제1호, 1995년 5월, pp.225~230