

# 有機 및 無機材料로 補修된 R/C보의 휨 疲勞舉動에 관한 研究

## A Study on the Flexural Fatigue Behavior of R / C Beams Repaired with Concrete-Polymer Composites

심종성\*                      황의승\*\*                      배인환\*\*\*                      이은호\*\*\*\*  
Sim, Jong Sung   Hwang, Eui Seung   Bae, In Hwan   Lee, Eun Ho

### 요 약

본 논문에서는 인장부위가 결손된 철근콘크리트 단순보를 제작하여 유기계 보수재료로서 폴리머계 (에폭시, 폴리에스터), 유·무기 혼합 보수재료로서 폴리머-시멘트계(라텍스, 프리믹스), 그리고 무기계 보수재료로서 시멘트계(그라우트) 등으로 주입 또는 팻칭의 방법으로 보수한 시험체에 대해 피로 실험을 수행하였다. 피로실험은 3점 휨 실험법으로 실시하였으며, 실험시 각 시험체의 하중반복횟수에 대한 보수재의 부착성능, 중앙처짐과 피로파괴시의 반복횟수를 조사하였다. 이들 실험결과를 토대로 반복횟수에 대한 각 보수시험체의 균열 및 파괴양상, 중앙처짐 등을 비교 분석하였으며, 피로강도를 예측하기 위한 S-N선도를 작도하였다.

연구결과, 콘크리트 모체와 보수재와의 부착성능은 폴리머계로 보수한 시험체가 가장 우수하였고, 폴리머-시멘트계 및 시멘트계로 보수한 시험체의 경우는 보수 접합면을 따라 균열이 진전되었다. 반복 횟수에 대한 보수시험체의 중앙처짐은 사용하중 상태인 응력수준 60%에서는 모든 보수시험체가 무보수시험체와 유사한 경향을 보였으나 응력수준이 증가할 수록 폴리머-시멘트계로 보수한 시험체만이 무보수시험체와 가장 유사한 경향을 나타냈다. 또한 본 피로실험 결과를 회귀분석하여 구한 S-N선도에 의하면 콘크리트 모체와 유사한 재료적 특성을 지닌 폴리머-시멘트계로 보수한 시험체가 무보수 시험체의 피로특성과 가장 유사한 것으로 나타났다.

### Abstract

In this thesis, the fatigue tests were performed on a series of R / C beams repaired with concrete-polymer composites to investigate the fatigue behavior. The three point loading system is used in the fatigue tests. In these tests, relations between the repeated loading cycles and mid-span deflections, number of repeated loading cycles when repaired beams were fractured, the bonding performance of repair materials were observed. On this basis, the mid-span deflections, the crack growth and failure mode of repaired R / C beams were studied. A S-N curve was drawn to present the fatigue strength of repaired beams.

\* 정희원, 한양대학교 토목·환경공학과 부교수  
\*\* 정희원, 경희대학교 토목공학과 조교수  
\*\*\* 한양대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\*\* 한양대학교 토목공학과 석사과정

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 1996년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

From the test results, it was shown that behavior of R/C beams repaired with polymer-cement series were very similar to control beam about bonding performance, mid-span deflections and fatigue strength according to S-N curve drawn by the regression analysis on the fatigue test results.

**Keywords :** concrete-polymer composites, bonding performance, mid-span deflection, crack growth, failure mode, S-N curve, polymer-cement series, fatigue strength, regression

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경

보수공법은 주로 박리(spalling)가 발생된 부위에 적용되며, R/C 구조물에서 박리는 철근의 부식(화학작용), 화재나 물리적인 충격, 온도변화, 동결융해, 불량한 설계세목 등에 의해 발생된다.

그중에서도 철근의 부식은 염화물이 침투하여 시멘트풀의 알칼리성을 상실하게 될 때 발생되고 철근이 부식될 때에는 원래 체적의 8배이상 증가하기 때문에 박리가 발생하게 된다. 또한, 빌딩내 가스폭발등의 화재나 자동차의 충돌로 인한 물리적충격에 의해서도 박리가 발생하게 된다. 이렇게 여러가지 요인에 의해 발생된 박리는 구조물의 강성을 저하시키고 구조물의 수명을 단축시키므로 적절한 보수공법 및 보수재료를 선정하여 적용함으로써 사용기간동안 구조물의 수명과 강성을 회복시켜야 한다. 보수절차는 부식된 철근깊이까지 콘크리트를 잘라 내고 철근을 깨끗하게 한 후 적절한 보수재료를 사용하여 단면을 주입(injection) 또는 팻칭(patching) 등의 방법으로 회복시키는 순서로 시공된다.

한편, 1982년 영국에서는 건축구조물과 토목구조물의 유지관리 비용으로 10 billion이 소요되었고, 1989년 미연방도로국에 보고에 따르면 대체해야 하거나 보수해야 할 교량은 전체의 40%이상이고 이에 대한 보수설계 및 유지관리 기법이 체계적으로 수행되고 있다고 한다. 국내의 경우 70년대의 급속한 산업발전과 더불어 건설되었던 여러형식의 교량들은 교통량의 증대, 과하중 및 설계·시공상의 오류 등 여러가지 원인으로 인해 성능저하 현상이 가속화 되고 있다. 특히 교량은 반복

하중을 받는 구조물의 대표적인 예로써 부재의 저항강도 보다 작은 하중에서도 치명적인 손상을 입게 된다. 이러한 피로파괴는 어떤 한계값 이상의 하중을 반복해서 받을 때 일어나는데 이 한계값을 피로한계라 하며, 이 하중 보다 낮은 하중하에서는 반복하중으로 인한 피로파괴는 일어나지 않는다. 철근 콘크리트 구조물의 피로저항성은 사용된 철근과 콘크리트 등의 피로특성과 직접적인 관계를 갖고 있으며 반복하중에 의한 구조물 파괴는 피로에 대한 성질이 취약한 요소의 파괴에 의해서 발생된다. 그러나 철근등의 강재는 뚜렷한 피로한계를 가지고 있으나 콘크리트 및 원상회복을 위한 각종 보수재료들은 뚜렷한 피로한계가 나타나지 않으며 또한 높은 응력을 유발하는 하중을 반복해서 받으면 변형이 회복되지 않고 강도가 저하하여 피로파괴로 이어진다.<sup>(2,3)</sup> 그러므로 구조물의 사용년 한을 증가시키고 안전성 확보를 위하여 필수적인 것으로서 국내 실정에 맞는 경제적이고 실용적인 보수공법 및 보수재료의 피로특성에 관한 연구는 대민 안전성 및 국가 자본의 절감차원에서 절실히 요구되고 있으나 이에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

### 1.2 연구 목적

본 연구에서는 역학적 성질이 다른 보수재료에 비해 우수하여 널리 사용되고 있는 유기계 보수재료인 폴리머계(epoxy, polyester), 유·무기 혼합재료인 폴리머-시멘트계(latex, premix), 그리고 무기계 재료인 시멘트계(grout) 등으로 보수한 철근콘크리트보의 피로실험을 통하여 콘크리트 모체와 결합된 보수재료의 피로특성을 규명함으로써 피로하중을 받는 손상된 R/C 부재의 최적

보수방법을 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, 폴리에스터), 폴리머-시멘트계 2종(라텍스, 프리믹스), 그리고 시멘트계 1종(그라우트)이고 시험체의 갯수는 보수재별로 각각 3개, 무보수

시험체 3개로 총 18개의 시편이 제작되었다. 응력수준은 정적실험으로 부터 도출된 정적과피강도의 60, 70 및 80% 이다. 변수별 시험체의 현황은 표 1과 같다.

### 2.3 사용재료

본 실험에서 사용된 재료는 콘크리트와 철근에 결손된 시험체의 보수를 위해 폴리머계, 폴리머-시멘트계 및 시멘트계 보수재료를 사용하였으며 사용재료의 물성을 항목별로 살펴보면 다음과 같다.

#### 2.3.1 콘크리트 및 철근

본 실험에서 사용한 콘크리트는 설계강도가  $210\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 설계된 레미콘제품을 사용하였다. 콘크리트의 재령 28일 압축강도 실험결과  $220\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 적절한 것으로 나타났고 슬럼프량은 22cm로 나타났다. 시험체의 배근에 사용된 철근은 항복강도  $4000\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 D10, D13 철근을 사용하였다.

#### 2.3.2 보수재료의 역학적 성질

공시체의 실험결과, 보수재료의 역학적 성질은 표 2와 같다. 이 표에서 보수재의 가장 중요한 요소 중 하나인 부착강도는 폴리머-시멘트계가 다소 떨어지는 것으로 나타났다.<sup>(7)</sup>

Table 1 Specimen names and variables

	Series	Repair Materials	Specimen	
			Name	Stress Level
-	Control	-	CON-1	80%
			CON-2	70%
			CON-3	60%
Organic	Polymer	Epoxy	DT5E1	80%
			DT5E2	70%
			DT5E3	60%
	Polyester	DT5P1	80%	
		DT5P2	70%	
		DT5P3	60%	
Materials	Polymer-Cement	Latex	DT5L1	80%
			DT5L2	70%
			DT5L3	60%
	Premix	DSH5B1	80%	
		DSH5B2	70%	
		DSH5B3	60%	
Inorganic Materials	Cement	Grout	DT5G1	80%
			DT5G2	70%
			DT5G3	60%

Table 2 Properties of repair materials

Strength	(kg/cm <sup>2</sup> )				
	Polymer		Polymer-Cement		Cement
	Epoxy	Polyester	Latex	Premix	Grout
Compression	797	704	286	383	597
Elastic Modulus ( $\times 10^6$ )	2.17	1.19	1.52	2.01	4.67
Flexure	238	222	62	42	109
Tensile	73	71	29	33	47
Bond	98	63	24	17	21

### 2.4 시험체 제작

철근콘크리트 보시험체의 단면치수는 그림 1과

같이 15×25cm, 인장철근 2-D13, 압축철근 2-D10, 순지간 길이 200cm, 총길이 240cm로 제작되었다. 철근량은 평형철근비의 33%를 사용하였고 시험체의 전단파괴를 막기 위해 D10 스티럽을 10cm 간격으로 배근하였다. 시험체제작은 먼저 인장부위에 길이 150cm, 깊이 5cm를 스티로폴로 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 보수시험체 제작을 완료하였다. 주입공법의 세부적인 방법은 그림 2에 나타내었다.

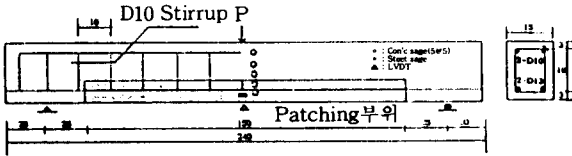


Fig. 1 Specimen details

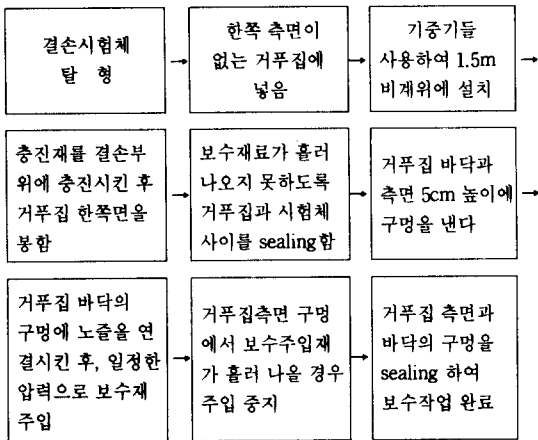


Fig. 2 The procedure of injection method

## 2.5 가력방법 및 측정

피로시험은 Shimadzu사 제품인 50tonf 용량 (stroke = ±50mm)의 피로시험기를 사용하였으며 단진재하로 가력하였다. 가력방법은 3점 휨 재하시험으로 하였으며 1회재하시에 정적실험을 실시한후, 10회까지 정적으로 재하하였다. 그 이후

는 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. 또한, 응력비( $P_{min}/P_{max}$ )는 0.1로 일정하게 하였으며 측정반복횟수는 표 3과 같다.

Table 3 Repeated cycle number

No. of Measurement	1	2	3	4	5	6	7	8
No. of Cycles	1	10	1,000	5,000	10,000	20,000	40,000	60,000
No. of Measurement	9	10	11	12	13	14	15	16
No. of Cycles	80,000	100,000	150,000	200,000	250,000	300,000	350,000	400,000
No. of Measurement	17	18	19	20	21	22	23	24
No. of Cycles	450,000	500,000	550,000	600,000	650,000	700,000	750,000	800,000

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 정적실험

정적파괴실험 결과 파괴강도는 폴리에스터 보수시험체가 5.92ton으로 가장 크게 나타났고 프리

Table 4 The strength of fracture

Specimen		$P_{max}$	$P_{min}$	Strength of Fracture	
Control	CON1	4.08	0.41	5.10	
	CON2	3.57	0.36		
	CON3	3.06	0.31		
Polyester	Epoxy	DT5E1	3.80	0.38	4.60
		DT5E2	3.30	0.33	
		DT5E3	2.80	0.28	
	Polyester	DT5P1	4.76	0.48	5.92
		DT5P2	4.17	0.42	
		DT5P3	3.57	0.36	
Polymer - Cement	Latex	DT5L1	3.84	0.38	4.87
		DT5L2	3.36	0.34	
		DT5L3	2.88	0.29	
Cement	Premix	DSH5B1	3.44	0.34	4.37
		DSH5B2	3.01	0.30	
		DSH5B3	2.58	0.26	
Cement	Grout	DT5G1	4.20	0.42	5.22
		DT5G2	3.60	0.36	
		DT5G3	3.10	0.31	

믹스 보수시험체가 4.37ton으로 가장 작게 나타났으나 기본시험체와의 강도차이는 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. 정적파괴강도로 부터 도출된 응력수준별 최대·최소하중은 표 4에 나타내었다.

### 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 휨 파괴 양상을 보였다. 그림 3은 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.

또한 그림 3에서와 같이 폴리머계(epoxy, polyester)로 보수한 시험체의 경우 기본시험체와 비교하면 균열의 개소가 상당히 적은 것을 볼 수 있다. 이것은 폴리머계 재료의 역학적 성질이 상대적으로 매우 우수하기 때문인 것으로 사료되며, 이로 인해 파괴시에는 매우 취성적인 양상을 보였다. 한편, 폴리머-시멘트계(latex, premix) 및 시멘트계(grout)의 경우는 기본시험체의 균열개소와 비슷한 것으로 나타났다.

#### 3.2.2 반복회수에 따른 하중-중앙최대처짐

반복횟수에 따른 하중-중앙최대처짐은 응력수준에 관계없이 폴리에스터 보수시험체가 가장 크게 나타났고 에폭시 보수시험체가 가장 작은 것으

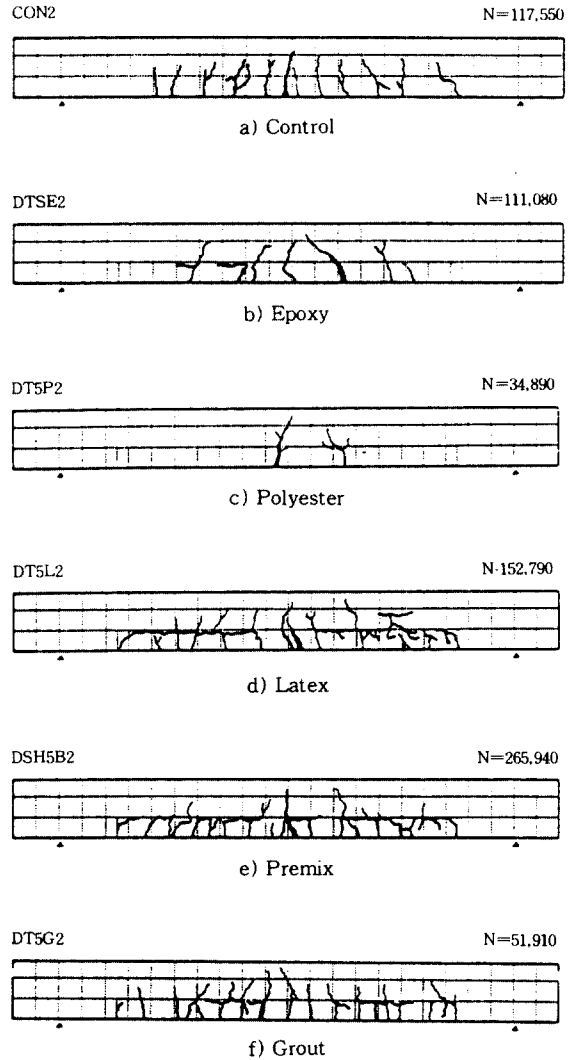
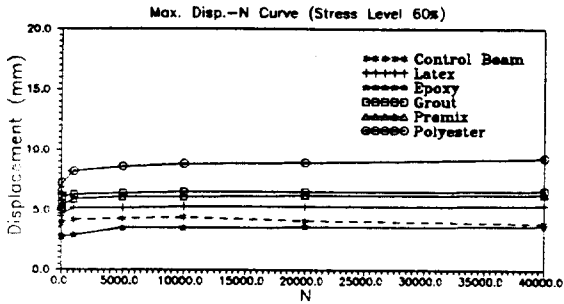
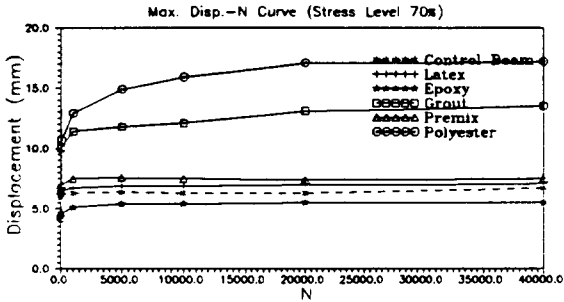


Fig. 3 Shape of crack(stress level 70%)

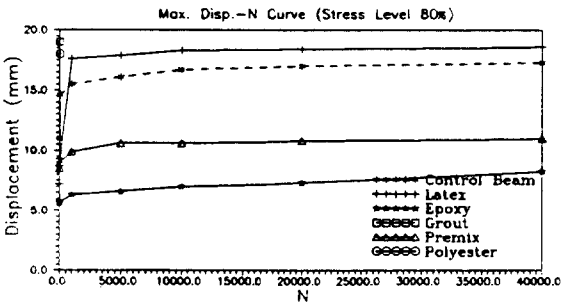
로 나타났다. 그림 4는 4만회 까지의 보수재료별 반복횟수에 따른 하중-중앙최대처짐선도이다. 사용하중 상태인 응력수준 60%에서 에폭시, 라텍스, 프리믹스 및 그라우트로 보수한 시험체의 중앙최대처짐은 반복횟수가 증가함에 따라 기본시험체와 유사한 거동을 보였다. 균열이 진전되는 응력수준 70%에서는 폴리머-시멘트계 보수재료인 라텍스, 프리믹스로 보수한 시험체가 기본시험체와 가장 근사한 거동을 나타내었으며, 그라우트 보수시험체는 사용하중 이상에서 기본시험체보다 큰 처짐을 나타내었다. 그리고 응력수준 80%에서



(a) Stress level 60%



(b) Stress level 70%



(c) Stress level 80%

Fig. 4 Load-displ. diagram

는 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.

한편, 본 연구에서는 하중-처짐선도를 이용하여 반복횟수 변화에 대한 보수시험체의 컴플리언스(compliance)를 비교하였다. 균열의 확대에 따르는 자유에너지 변화의 각 내용 즉, 외부일, 탄성 에너지 및 비탄성 에너지를 검토하기에 앞서 “균열의 존재에 의하여 시험편 전체의 신장이 증가한다”를 관련시켜 컴플리언스를 정의한다. 예를 들어 길이가 c인 균열을 갖는 단위두께의 2차원 시험면에 있어서 하중 f와 변위 u사이의 관계는 균열이 있고 없고를 불구하고, 당연히 고체원자의 응집력에 기인하는 탄성적인 성질을 표시하는 훅크의 법칙에 따르게 된다. 즉

$$f = ku$$

이고, 여기서 비례상수 k는 시험편의 용수철 상수이다. 또한, 시험편의 용수철 상수의 역수를 컴플리언스(compliance)라 하고 이것을  $\lambda$ 로 표시하면 아래식으로 표시된다.

$$\lambda \equiv \lambda(c) = \frac{u}{f} (= \frac{1}{k})$$

그런데 이 컴플리언스는 보통의 용수철 상수와는 달리 균열을 갖는 시험편에 대하여 정의되는 값으로 균열길이의 함수로 되는 것이다. 즉, 균열의 길이가 커질수록 시험편의 강성은 낮아져 변형하기 쉬우므로 컴플리언스는 증가된다. 다음 표 5는 응력수준 70%에 대해 보수재료별 반복횟수에 따른 컴플리언스의 변화를 나타낸 것이다.

표에서 알수 있듯이 최초 하중재하시(N=1) 시멘트계(grout) 보수시험체가 0.0027 mm/kgf(기본시험체에 대해 약 1.43배)로 초기 컴플리언스가 가장 크게 나타났고 폴리머계(epoxy) 보수시험체가 0.0013mm/kgf(기본시험체에 대해 약 0.69배)로 가장 작게 나타났다. 그러므로 초기 강성은 각 보수재료 중 폴리머계가 가장 우수하여 변형하기 어려운 것으로 보인다. 이러한 양상은 피로파괴 직전의 컴플리언스의 비교에서도 알 수 있다. 피로파괴 직전의 각 보수재료별 컴플리언스는 각각 기본시험체 0.0017mm/kgf, 폴리머계(epoxy) 0.0014mm/kgf, 폴리머-시멘트계(latex) 0.0017mm/kgf, 그리고 시멘트계(grout)

Table 5 The results of compliances  
(unit : E-03 mm /kgf)

Material No.of Cycles	Control	Polymer (Epoxy)	Polymer -Cement (Latex)	Cement (Grout)
1	1.8656	1.2879	1.7917	2.6758
10	1.5063	1.1576	1.5208	1.6538
1,000	1.5500	1.2576	1.5476	1.6676
5,000	1.5813	1.2879	1.6071	1.7060
10,000	1.5656	1.3030	1.6190	1.7060
20,000	1.5688	1.3303	1.6339	1.7308
40,000	1.6438	1.3606	1.6637	1.7555
60,000	1.6719	1.3455	1.6488	
80,000	1.7313	1.3606	1.6935	
100,000	1.7156	1.3909	1.6637	
150,000			1.6637	
200,000				

0.0017mm /kgf로 역시 폴리머계 보수시험체가 피로파괴 직전까지 높은 강성을 유지하고 있음을 알 수 있다.

한편, 기본시험체 및 각 보수시험체의 컴플리언스 변화 이력곡선을 그림 5에 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 각 시험체의 컴플리언스 변화이력은 최초하중 재하시 가장 큰 컴플리언스가 나타났고 반복횟수가 커질 수록 감소하였다가 다시 증가하는 양상을 나타내었다. 또한, 상기 표 5 및 그림 5로 부터 기본시험체에 비해 컴플리언스의 경향은 폴리머계의 경우 낮은 수준을 시멘트계의 경우 높은 수준을 보였으나 폴리머-시멘트는 유사한 경향을 보였다.

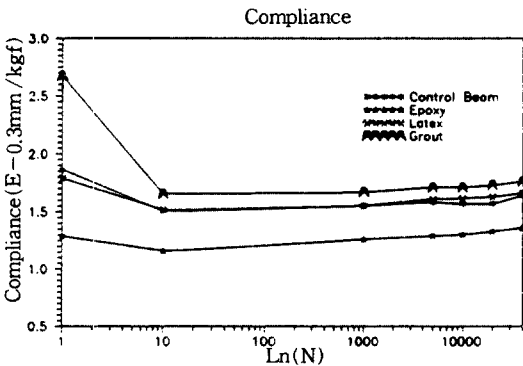


Fig. 5 Compliance history curve

### 3.2.3 보수재료별 피로강도 및 파괴시 횟수

구조물의 피로거동에 관한 작용하중과 반복횟수의 관계로부터 나타난 S-N선도 또는 Wöhler선도는 어느 특정한 반복횟수 N에 대한 응력수준 값인 피로강도를 예측하는데 적용된다. 대부분의 금속들은 이와 같은 피로강도를 가지고 있지만 콘크리트는 금속과 달리 미리 정한 반복횟수에 대한 피로강도를 사용하고 있다.<sup>(1)</sup> 철근콘크리트 보의 100만회에 대한 최대응력 수준은 연구자들마다 다르게 보고하고 있으나, 일반적으로 최대정적강도의 50% 내외 또는 60~70%(Hsu)로 알려져 있다.<sup>(2)</sup> 피로시험 결과, 산출된 반복횟수 100만회에 대한 피로강도는 각각 기본(무보수)시험체 50.4%, 에폭시 보수시험체 31.1%, 폴리에스터 보수시험체 54.9%, 라텍스 보수시험체 47.3%, 프리믹스 보수시험체 50.9% 그리고 그라우트 보수시험체가 57.6%로 나타났다. 표 6은 시험체별 회귀분석결과이다.

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 1.14로 나타났다. 따라서 피로수

Table 6 The results of regression

Materials	Stress Level (%)	No. of Fracture (N)	Regression
Control	80	69,840	$S = -10.437 \times \ln(N) + 194.511$
	70	117,550	
	60	425,880	
Epoxy	80	51,210	$S = -16.702 \times \ln(N) + 261.837$
	70	111,080	
	60	162,040	
Polyeter	80	340	$S = -3.200 \times \ln(N) + 99.108$
	70	34,890	
	60	60,100	
Latex	80	57,390	$S = -11.592 \times \ln(N) + 207.423$
	70	152,790	
	60	318,490	
Premix	80	107,140	$S = -13.270 \times \ln(N) + 234.272$
	70	265,940	
	60	471,420	
Grout	80	460	$S = -3.014 \times \ln(N) + 99.200$
	70	51,910	
	60	176,390	

명 100만회에 대한 피로강도는 폴리에스터, 프리믹스, 그라우트 등으로 보수한 시험체가 기본시험체보다 우수한 것으로 나타났다. 그러나 폴리에스터 및 그라우트 보수시험체의 경우 응력수준 80%에서 파괴시 횡수(표 6 참조)가 매우 작게 나타나 회귀분석결과에 많은 영향을 미쳐 피로강도값이 크게 나온 것으로 사료되므로 회귀분석으로부터 도출된 피로강도값보다는 파괴시 횡수를 고찰하는 것이 더 바람직하다고 판단된다. 그러므로 파괴시 횡수를 비교해 볼 때 폴리머-시멘트계 보수 시험체가 기본시험체와 가장 유사한 파괴시횡수를 나타내었다. 표 7은 피로수명 백만회에 대한 시험체별 피로강도 및 기본시험체에 대한 피로강도비를 요약한 것이다.

Table 7 The ratio of fatigue strength

Specimen Ratio	Cont.	Epoxy	Poly.	Latex	Prem.	Grout
Fati.Streng.(%)	50.4	31.1	54.9	47.3	50.9	57.6
Repaired B. Control B.	1.00	0.62	1.09	0.94	1.01	1.14

### 3.2.4 탄성계수에 따른 보수성능비교

탄성계수는 강성의 정도, 또는 변형에 대한 재료의 저항정도를 나타낸다. 그러므로 콘크리트 모체와 보수재료간의 탄성계수를 비교함으로써 반복하중하에서 탄성계수차이에 따른 부착면의 균열 등 보수재의 피로성능을 평가하는데 매우 유용할 것으로 사료된다.

다음 표 8은 보수재료의 탄성계수(표 2 참조) 및 콘크리트 모체의 탄성계수에 대한 보수재료의 탄성계수비를 나타낸 것이다. 적합한 보수재료를 선정하는 데는 여러 가지 기준이 있겠지만 기존 모체콘크리트와 유사한 탄성계수를 가진 재료가 보수재료로서 유리하다는 측면에서 볼 때, 본 연구에서는 에폭시(0.98) 및 프리믹스(0.91)보수재가 가장 우수한 것으로 나타났다. 그러나, 기본시험체의 제품성보다 상대적으로 큰 에폭시(epoxy)보수재는 피로하중하에서 피로수명을 증가시키는 균열의 발생을 억제함(그림 3 참조)으로써 프리믹스(premix)보수재보다 상대적으로 낮은 피로수명을 나타내었다.

Table 8 The ratio of elastic modulus

Specimen Ratio	Cont.	Epoxy	Poly.	Latex	Prem.	Grout
Elastic Modulus ( $\times 10^6 \text{kg/cm}^2$ )	2.22	2.17	1.19	1.52	2.01	4.67
$\frac{E_r}{E_c}$	1.00	0.98	0.53	0.68	0.91	2.10

## 4. 결 론

본 연구에서는 총 시편길이 240cm이며 인장축으로 깊이 5cm, 길이 150cm를 폴리머계 및 폴리머-시멘트계 및 시멘트계 보수재료를 이용하여 주입 또는 팻칭의 방법으로 보수한 시험체의 휨피로시험으로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 피로하중하의 보수시험체의 균열 및 파괴양상에서, 응력수준에 관계없이 폴리머계 및 시멘트계로 보수한 시험체는 기본시험체와 유사하게 전형적인 휨파괴 형태를 나타내고 있으며, 이중 폴리머계는 우수한 역학적 성질로 인해 균열의 개소가 적게 발생하였고 이로 인해 취성적인 파괴양상을 나타내었다. 한편, 폴리머-시멘트계로 보수한 시험체의 경우는 콘크리트 모체와 보수 부위의 접합면에서 접합면을 따라 균열이 진전되면서 휨파괴에 이르는 양상을 보였으나 파괴시 반복횡수(표 6 참조)는 응력수준에 관계없이 타재료에 비해 우수한 것을 감안 할 때, 이는 피로의 점진적 손상이 균열에 의해 어느 정도 제어된 것으로 사료된다.

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 증가할수록 폴리머-시멘트계 보수시험체만이 기본시험체와 유사한 경향을 보였다. 또한, 보수재료별 반복횡수에 따른 컴플리언스 변화에서도 폴리머-시멘트계 보수시험체가 기본시험체와 가장 유사한 거동을 보여 콘크리트 모체와 비슷한 강성을 가진 것으로 나타났다.

3) 보수재료의 탄성계수 비교 결과에서, 에폭시 및 프리믹스 보수재가 가장 콘크리트모체와 유사



한 값을 나타냈으나 기본시험체의 제물성보다 상대적으로 큰 에폭시 보수재는 피로하중하에서 피로수명을 증가시키는 균열의 발생을 억제함으로써 프리믹스 보수재에 비해 상대적으로 낮은 피로수명을 나타내었다.

4) 보수시험체에 대한 회귀분석 결과로부터 도출된 피로수명 100만회에 대한 피로강도 비교결과, 폴리에스터, 프리믹스, 그라우트 등이 기본시험체보다 우수한 강도값을 나타내었다. 그러나 비교적 정확한 회귀분석결과를 얻기 위해서는 각 응력수준별로 더 많은 시험체를 제작하던지 아니면 응력수준을 더 많이 선정하여야 하겠지만 제한된 연구비와 시설로 인해 3가지의 응력수준과 각 응력수준별로 1개의 시험체만을 제작, 실험하였으므로 상기 제시한 피로강도값은 정량적인 비교보다는 정성적인 고찰에 치중하여야 할 것으로 사료된다. 또한 파괴시 휨수비교에서는 콘크리트 모체와 유사한 재료적 특성을 지닌 폴리머-시멘트계 보수시험체가 기본시험체의 파괴시 휨수와 가장 유사한 것으로 나타났으나 낮은 부착강도로 인해 접착계면에서 균열이 발생하였고 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 접착면에서의 프라이머(primer)개발등 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.

#### 참 고 문 헌

1. Norby, G. M., "Fatigue of Concrete-A Review of Research", Journal of ACI, Proceedings Vol. 57, No. 8, 1958, pp. 174~219
2. Hsu, T. C., "Fatigue of Plain Concrete", ACI Journal, Vol. 78, July-August, 1981, pp. 292~305
3. 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
4. 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
5. 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
6. ACI Committee 215, "Considerations for Design of Concrete Structures Subject to Fatigue Loading", 1986, pp. 215R-1~215R-25
7. 연규석 외 5명, "철근콘크리트 구조물의 보수 공법연구(I)-보수재료 및 공법-" 한국콘크리트학회, 봄학술발표회 논문집, 제7권, 제1호, 1995년 5월, pp. 212~218
8. 심종성 외 4명, "철근콘크리트 구조물의 보수 공법연구(III)-정·동적 휨특성 연구-" 한국콘크리트학회, 봄학술발표회 논문집, 제7권, 제1호, 1995년 5월, pp. 225~230

(접수일자 : 1995. 10. 19)