

유기 및 무기재료로 보수된 R/C보의 거동특성비교

심 종 성

〈한양대학교 토목·환경공학과 교수〉

연 규 석

〈강원대학교 농공학과 교수〉

최 완 철

〈숭실대학교 건축공학과 교수〉

1. 서 론

1. 1 연구배경

모든 구조물은 시공단계에서 부터 시간이 경과함에 따라 설계에서 예측하지 못했던 여러가지 변화 즉, 시공중의 설계변경및 시공불량, 구조물의 완공 후의 용도변경에 따른 하중증가, 구조물 지역의 환경변화, 시간의 경과에 따른 재료특성의 변화 등을 받게 된다. 특히 콘크리트구조물의 경우 균열발생 및 시간경과에 따른 콘크리트의 노후화는 피할 수 없으며, 이러한 콘크리트의 노후화는 예기치 못한 대형사고나 구조물의 붕괴를 야기시킬 수 있다. 예기치 못한 사고를 방지하기 위해 노후화된 구조물이나 일부 부재를 제거하고 새로 건설하는 것이 가장 좋겠으나 이것은 경제적으로나 시간적으로 큰 제약을 받는다. 따라서 선진국에서는 보수 및 보강공법에 사용되는 접착제, 보수재및 보강재의 개발로 노후화된 구조물에 대한 보수및 보강

공법이 활발히 적용되고 있다.

보수설계는 손상된 구조물의 기능회복을 목적으로 적절한 재료 및 공법을 선정하여야 하며, 보수설계시 보수의 범위, 규모, 손상원인, 구조물의 중요도, 환경조건및 회복목표 등을 고려하여야 한다. 보수에 사용되는 재료는 유기재료 및 무기재료로 크게 구분되며 각각 수많은 종류의 보수재가 개발되어 시판되고 있다. 이들중에서 최근에는 고분자 재료의 발달에 힘입어 유기계의 보수재료가 많이 사용되고 있다. 국내의 경우 이와같은 보수재의 대부분은 외국으로 부터 수입에 의존하고 있는 실정이며, 동일한 성분의 재료도 다양한 상품명으로 판매되고 있다.

콘크리트구조물의 보수공법 또한 경우에 따라 적용방법이 다르기 때문에 많은 이론적 연구와 실무경험이 요구된다. 그러나 국내의 보수보강에 대한 이론적인 연구, 축적된 기술 등이 부족하여 오직 경험에 의해 보수 및 보강공법이 적용되고 있다.

1. 2 연구목적

본 논문에서는 철근콘크리트의 열화현상의 결과로서 발생하는 박리 또는 표면붕괴된 보수시험체에 폴리머계 재료, 폴리머-시멘트계 재료 및 시멘트계 재료를 적용한 경우의 보수효과를 비교하고, 보수공법도 주입방법 및 팻칭방법을 적용해 봄으로써 최근 논란이 되고 있는 유기재료를 사용한 보수공법과 무기재료를 적용한 보수공법의 보수성능을 정적시험과 동적시험을 통해 비교·고찰함으로써, 국내실정에 가장 적합한 보수·보강 신기술을 제시하기 위한 일련의 실험성과를 소개하고자 한다. 본 논문은 '94년도 건설기술 연구개발 과제로 선정되어 현재 수행중에 있는 “철근콘크리트 구조물의 보수·보강 신기술개발”이라는 연구과제의 일부를 발췌한 것임을 밝힌다.

1. 3 연구내용 및 범위

본 연구에서는 보수재료의 성능 및 보수기법에 대한 연구를 위하여 크게 3가지 즉, 재료성

〈표 1〉 재료시험시 고찰사항

● 보수재료 및 공법 선정 및 배합		
① 폴리머계, 폴리머-시멘트계, 시멘트계 별로 각 2종씩의 재료 및 공법 선정		
계 열	사용재료	적용공법
폴리머계	Epoxy	주 입
	Polyester	주 입
폴리머-시멘트계	Latex	주 입
	Premix	주 입
시멘트계	Grout	주 입
	급결제	팻
② 총 6가지 재료에 대한 배합실험		
● 보수재료의 재료적 특성실험		
① 물리적 특성실험		
② 역학적 특성실험		

능실험, 정적재하실험 및 동적재하실험이 실시되었다.

1. 3. 1 재료성능실험

재료실험에서는 폴리머계에서 Epoxy, Polyester, 폴리머-시멘트에서 Latex, Premix 그리고 시멘트계에서 Grout, 급결제가 선정되어 각 재료에 대하여 배합실험이 실시되었다. 또한 선정된 3종 6가지 보수재에 대한 각 시험방법별로 제작된 공시체실험결과로 부터 물리적 특성 및 역학적 특성을 고찰하였으며 적용된 보수공법에 대한 적절성도 함께 조사하였다. 재료실험에서 고찰할 사항을 요약하면 표 1과 같다.

1. 3. 2 정적재하실험

정적재하실험에서는 보수된 시험체에 대한 정적파괴시험이 실시되었다.

보수시험체의 단면치수는 15cm×25cm, 유효높이(d=22cm), 인장철근 2-D13, 압축철근 2-D10, 길이 2.4m의 복철근보로 제작하였으며 전단파괴를 막기위하여 D10철근을 10cm 간격으로 배근하였다. 사용된 철근량은 평형철근비의 약 33%이며, 단면손실은 인장측에 150×15×2 또는 150×15×5로 제작되었으며 압축측 단면손실의 경우도 고려하였다. 보수재료에 대한 보수기법은 Polyester, Epoxy, Latex 및 Grout 보수재에 대해서는 주입법을 적용하였으며 급결제와 Premix 보수재에 대해서는 팻칭공법을 사용하였다. 또한 가력방법은 3점 휨시험방법이 적용되었다.

1. 3. 3 동적재하실험

동적재하실험에서는 인장부위가 결손된(150×5cm) 철근콘크리트보 시험체를 제작한 후 폴리머계(Epoxy, Polyester), 폴리머-시멘트계(Latex, Premix) 및 시멘트계(Grout)의 3종 5가지 보수재료를 사용하여 보수시험체를 제작

하였다. 적용된 응력수준은 정적최대하중의 60%, 70% 및 80%이며 하중재하속도는 2Hz 단진재하하였다.

2. 재료성능실험

2. 1 시험체제작

보수재료를 사용한 시험체 제작은 각재료의 특성과 용도에 따라 프리팩트 콘크리트용과 스프레이 모르타르용의 두가지 방식으로 제작 하였다.

공시체의 치수는 재료간의 특성 비교를 용이하게 하기위해 KS F 2419(폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도시험용 공시체 제작방법)에 규정된 방법에 의해 제작하였다.

프리팩트 콘크리트용 시험체의 제작은 기건상태인 조골재를 원주형 시험체의 경우 3층으로 나누어 채우고, 각 층마다 다짐대로 25회씩, 각 주형 시험체의 경우 2층으로 나누어 채우고 각 층마다 다짐대로 25회씩 다졌다. 주입재의 배합은 전동식 핸드믹서로 교반하며, 배합비는 재료별로 소정의 워커빌리티와 강도를 얻을 수 있는 범위 내에서 골재의 양을 최대한 하고 주입재의 양을 최소화하였다. 구성재료의 비율은 제조기업에서 제시한 자료를 사용하고, 골재량은 공극량 예비 실험을 통해 결정하였다. 주입은 현장 상황에 맞게 조금씩 저속으로 주입하였다.

스프레이 모르타르용은 급속히 경화되므로 신속한 혼합과 타설이 필요하다. 혼합은 콘크리트용 강제식 믹서로 하였으며, 다짐은 원주형 시험체의 경우 3층, 각주형 시험체의 경우 2층으로 각각 나누어 다짐대로 25회씩 다짐 한 후 테이블 바이브레이터(3,000 vpm)로 충분히 다졌다.

캐핑은 각 재료의 특성에 맞게 폴리머계의 경우 6~10 시간이 지난 다음 표준사를 사용한 폴리머 모르타르로 하였으며, 폴리머-시멘트계 및 시멘트계의 경우 7일이 지난 다음 표준사를 사용한 초속경 시멘트모르타르로 하였다. 양생은 그

용도나 재료별 특성에 따라 다르나 각 재료간 비교와 현장상황에 맞게 별도의 양생처리를 하지 않고 온도 10~15℃, 상대습도 50~60%인 실험실 내에서 폴리머계는 7일간, 폴리머-시멘트계 및 시멘트계는 28일간 자연양생 시킨 후 시험에 사용하였다.

제작된 시험체에 대한 실험항목 및 실험방법을 요약하면 표 2와 같다.

〈표 2〉 실험항목

물리적 특성	<ul style="list-style-type: none"> - 단위용적중량 및 흡수율(KS F 2518) - 경화시간(KS F 2484) - 경화수축(Ohama-Demura 방법)
역학적 특성	<ul style="list-style-type: none"> - 강도(KS F 2481) - 탄성계수 및 포화선 비(KS F 2438) - 충격강도(강구낙하법) - 부착강도(Demura 방법)

〈표 3〉 적용된 보수재료의 배합비

재 료	결합재 배합비(wt.%)
Epoxy	에폭시 수지 66.6, 경화제 33.4
Polyester	폴리에스테르 수지 57.6, 수축저감제 19.2 모노머 4.0 충전제 19.2
Latex	시멘트 63.9, 물 26.6, 라텍스 8.0, 감수제 1.3, 응결조절제 0.2
Premix	파우더 (세골재 포함) 89.0, 물 11.0
Grout	그라우트제 87.7, 물 12.3
급결제	시멘트 16.8, 세골재 74.0, 물 8.4, 급결제 0.8

그리고 공시체 제작시 적용된 배합비는 표 3과 같다.

2. 2 실험결과

2. 2. 1 물리적특성

1) 단위용적중량 및 흡수율

보수재료에 대한 단위용적중량 및 흡수율 시험 결과는 표 4와 같으며 이때 실내온도는 $21 \pm 2^\circ\text{C}$ 이고, 수온은 16°C 이었다. 시험결과에서 볼 때 급결제, Latex, Grout의 단위용적중량은 $2.1 \sim 2.3 \text{ t/m}^3$ 으로서 시멘트 콘크리트와 거의 비슷한 값을 보였으나, Epoxy, Polyester, Premix는 $1.9 \sim 2.1 \text{ t/m}^3$ 로서 약간 작게 나타났다. 그리고 폴리머계 재료의 흡수율은 $0.12 \sim 0.17\%$ 로서 시멘트 콘크리트의 $4 \sim 6\%$ 보다 훨씬 작을 뿐 아니라 일반적인 콘크리트용 골재의 흡수율 $0.5 \sim 4.0\%$ 보다도 작은 값을 보였다. 이것은 폴리머계 재료의 방수성이 우수함을 나타내 주는 것이다. 폴리머-시멘트계와 시멘트계의 흡수율은 Grout 보수재만이 시멘트 콘크리트의 범위안에 들어가거나 나

〈표 4〉 단위용적중량 및 흡수율

계 열	재 료	단위용적중량(kg/m ³)		흡 수 율 (%)	
		시 험 치	평 균	시 험 치	평 균
폴리머계	Epoxy	1.873	1.881	0.17	0.16
		1.894		0.17	
		1.877		0.13	
	Poly-ester	1.926	1.910	0.12	0.14
		1.908		0.17	
		1.896		0.13	
폴리머-시멘트계	Latex	2.259	2.241	7.29	7.43
		2.267		7.31	
		2.198		7.68	
	Premix	2.156	2.087	10.63	10.63
		2.118		10.66	
		1.987		10.60	
시멘트계	Grout	2.218	2.228	3.94	3.83
		2.227		3.84	
		2.238		3.71	
	급결제	2.212	2.194	9.81	9.96
		2.155		10.00	
		2.194		10.06	

머지는 상당히 큰 값이 나와 이들 재료의 방수성을 개선할 필요가 있는 것으로 판단된다.

2) 경화시간

보수재료에 있어 경화시간은 시공시 매우 중요한 요소이다. 경화시간은 경화제의 양과 보수시 온도 및 습도에 영향을 받는다. 이와같은 경화시간은 작업을 할 수 있는 시간과 손상된 구

〈표 5〉 경화시간 시험결과

계 열	재 료	경 화 시 간
폴리머계	Epoxy	4시간경 겔상태, 7시간 경과 후 경화
	Poly-ester	1시간 30분경 겔상태, 2시간 경과 후 경화
폴리머-시멘트계	Latex	40분경 표면막 형성, 70분 경과시 겔상태, 90분 경과시 경화 시작 130분 경과후 경화
	Premix	타설후 응결이 시작, 1일 정도 경화
시멘트계	Grout	2시간경 응결 시작, 4시간 경과 후 경화 시작 7시간 경과 후 경화
	급결제	응결시간은 초결 2분, 중결 15분 정도

조물을 보수함으로 원상을 회복하여 빠른 시간 내에 재사용 할수 있는 척도가 된다.

본 실험에서 측정된 보수·보강 재료의 경화시간은 표 5와 같다.

3) 경화수축

축 시험결과는 표 6과 같다. 스프레이 모르타용 재료들은 타설과 함께 경화가 시작되므로 경화수축 값의 측정이 용이하지 않는데 비해 프리팩트 콘크리트용 재료들은 대체적으로 경화수축 값의 측정이 용이하였다. 이 결과에서 Epoxy의 평균 경화수축은 $0.651/1,000$ 로서 $0.651/1,000$ 로서 경화수축이 거의 없는 것으로 나타났으며, Premix는 $6.5/1,000$ 로 상당히 크게 나타났다. 나머지 재료들은 기존 시멘트

〈표 6〉 경화수축시험결과

계열	재료	경화수축 (1./1,000)	
		시험치	평균
폴리머계	Epoxy	0.5, 0.8	0.65
	Polyester	3.2, 3.5	3.4
폴리머-시멘트계	Latex	3.1, 2.4	3.5
	Premix	5.8, 7.1	6.5
시멘트계	Grout	4.2, 4.5	4.4
	급결재	2.5, 2.7	2.6

콘크리트와 비슷한 정도의 값을 보여 주고 있다.

2. 2. 2 역학적 특성

1) 강도

폴리머계 재료는 재령 7일, 폴리머-시멘트계 및 시멘트계 재료는 재령 28일 강도를 기준으로 하여 시험한 결과는 표 7과 같다. 표 7에서 볼 수 있듯이 폴리머계가 압축강도 700~800kg/cm², 휨강도 220~240kg/cm², 활렬인장강도 70~75kg/cm²로 다른 재료에 비해 월등히 높게 나타났다.

시멘트계의 Grout는 평균 압축강도 597.4kg/cm², 휨강도 109.4kg/cm², 활렬인장강도 46.7kg/cm²로 매우 높게 나타났으며, 폴리머-시멘트계의 Latex가 평균 압축강도 285.6kg/cm², 휨강도 62.6kg/cm², 활렬인장강도 28.5kg/cm²로 나타났다.

한편 표 7의 압축, 인장, 휨강도 시험결과와의 평균값을 이용하여 산출한 강도비는 표 8과 같다.

Epoxy의 경우 압축강도와 휨강도의 비가 3.3, 압축강도와 인장강도의 비가 10.9, 휨강도와 인장강도의 비가 10.9, 휨강도와 인장강도의 비가 3.3, Latex의 경우 압축강도와 휨강도의 비가 4.6, 압축강도와 인장강도의 비가 10.0, 휨강도와 인장강도의 비가 2.2, Grout의 경우 압축강도 휨강도의 비가 5.5, 압축강도

와 인장강도의 비가 12.8, 휨강도와 인장강도의 비가 2.3이었다. 이러한 결과들은 시멘트 콘크리트 압축강도 600kg/cm² 정도인 경우 압축강도와 휨강도비가 8.8, 압축강도와 인장강도의 비

〈표 7〉 공시체강도 시험결과

(단위 : kg/cm²)

계열	재료	압축강도		휨강도		활렬인장강도	
		시험	평균	시험	평균	시험	평균
폴리머계	Epoxy	783.1	797	226.2	238	73.4	73.2
		799.3		241.4		70.6	
		808.5		246.4		75.7	
	Polyester	700.1	703.6	231.3	221.5	78.0	71.1
711.4		223.5		73.8			
699.2		209.8		61.4			
폴리머-시멘트계	Latex	293.5	285.6	62.7	62.6	27.8	28.5
		288.3		67.0		34.1	
		275.0		58.2		23.6	
	Premix	373.8	382.8	40.1	41.6	39.1	33.3
385.1		38.2		26.2			
389.4		46.4		34.7			
시멘트계	Grout	604.5	597.4	113.3	109.4	42.3	46.7
		561.1		106.3		47.6	
		626.5		108.5		50.3	
	급결재	261.5	223.5	44.2	43.6	30.9	25.6
193.9		42.4		23.6			
215.2		44.1		22.3			

〈표 8〉 각 재료별 강도비

재료	평균압축강도	평균휨강도	평균인장강도	(σ c) - (σ b)	(σ c) - (σ t)	(σ b) - (σ t)
	(σ c)	(σ b)	(σ t)	(σ b)	(σ t)	(σ t)
Epoxy	797	238	73.2	3.3	10.9	3.3
Polyester	703.6	221.5	71.1	3.2	9.9	3.1
Latex	285.6	62.6	28.5	4.6	10.0	2.2
Premix	382.8	41.6	33.3	9.2	11.5	1.2
Grout	597.4	109.4	46.7	5.5	12.8	2.3
급결재	223.5	43.6	25.6	5.1	8.7	1.7

가 14.1, 휨강도와 인장강도의 비가 1.6이고, 압축강도 1,500kg/cm² 정도인 화강합의 경우 압축강도와 휨강도의 비가 13.6, 압축강도와 인장강도의 비가 37.5인 것과 비교해 볼 때, 보수·보강 재료의 경우 압축강도에 대한 휨강도와 인장강도의 비가 매우 높은 것으로 나타났다.

3) 탄성계수 및 포와슨비

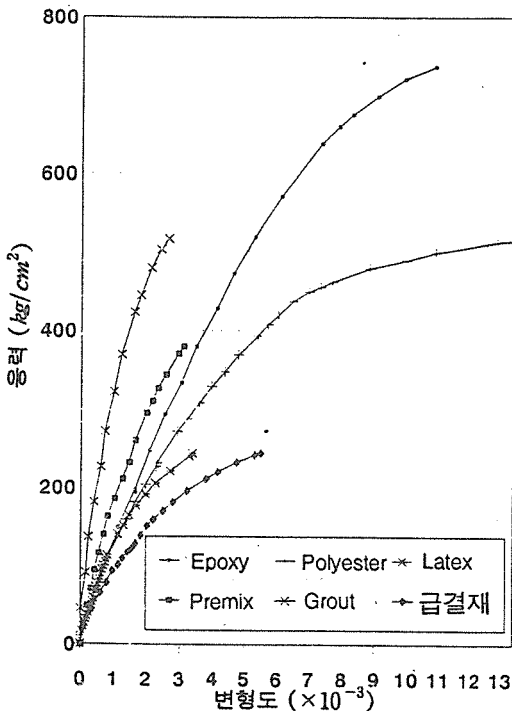
탄성계수는 응력-변형도 곡선으로 부터 구할 수 있으며 보수재료에 관한 응력-변형도 시험결과는 그림 1과 같으며 탄성계수는 표 9와 같다. 이 결과에서 폴리머계인 Epoxy는 2.17×10⁵kg/cm²로 기준값과 비슷하나 같은 계통인 Polyester는 1.19×10⁵kg/cm²로 작게 나타났다. 폴리머-시멘트계인 Latex는 1.52×10⁵kg/cm² Premix는 2.01×10⁵kg/cm²로서 Latex는 작았으나 Premix는 근사값을 나타냈다. 시멘트계인 Grout은 4.68×10⁵kg/cm²로 매우 컸으며, 급결재는 1.56×10⁵kg/cm²로 작

았다. 포와슨비는 폴리머계인 Epoxy가 0.56인데 비해 Poly-ester가 0.19로 작게 나타났다. 폴리머-시멘트계인 Latex가 0.16, SI-Pr이 0.23으로 보통 시멘트 콘크리트의 포와슨비와 거의 같다. 시멘트계인 Grout은 0.71로 매우 큰 값을 나타내고 있고, 급결재는 0.23으로 나타났다. 이것은 시멘트 콘크리트의 압축강도가 700~900kg/cm²일 때 탄성계수가 4.5×10⁵kg/cm² 이고 보통 시멘트 콘크리트의 포와슨비가 0.08~0.16인 것과 비교한다면 탄성계수는 작고 포와슨비는 큼을 알 수 있다.

이와 같은 결과들은 프리팩트 콘크리트 및 스프레이 모르타르방식으로 시험체를 제작하였기 때문에 결합재의 양, 골재량, 다짐, 양생 등에 의한 영향으로 판단된다.

3) 충격강도

보수재료는 각종 구조물에 사용되므로 충격에 대한 영향도 고려되어야만 한다. 표 10은 보수



〈그림 1 보수시험체의 응력-변형률선도〉

〈표 9 탄성계수 및 포와슨비 산출결과〉

계열	재료	탄성계수(×10 ⁵) (kg/cm ²)		포와슨비 (v)	
		실험	평균	실험	평균
폴리머계	Epoxy	2.11	2.17	0.55	0.56
		2.19		0.56	
		2.22		0.58	
	Polyester	1.19	1.19	0.18	0.19
1.20		0.19			
폴리머-시멘트계	Latex	1.50	1.52	0.17	0.16
		1.55		0.16	
		1.52		0.16	
	Premix	1.88	2.01	0.23	0.23
		2.14		0.22	
		1.99		0.23	
시멘트계	Grout	4.89	4.68	0.84	0.71
		4.58		0.76	
		4.56		0.53	
	급결재	1.63	1.56	0.24	0.23
		1.51		0.22	
		1.54		0.23	

〈표 10〉 충격강도 시험결과

구분	파괴높이 (cm)		충격강도(kg·cm/cm ²)	
	시험치	평균	시험치	평균
Epoxy	95, 90, 80	88	2.64, 2.5, 2.22	2.45
Polyester	80, 77, 80	79	2.22, 2.14, 2.22	2.19
Latex	33, 35, 35	34	0.92, 0.97, 0.97	0.95
Premix	50, 35, 40	42	1.39, 0.97, 1.11	1.16
Grout	35, 30, 32	32	0.97, 0.83, 0.89	0.90
급결재	23, 30, 25	26	0.64, 0.83, 0.69	0.72

재료에 대한 충격강도 시험결과를 나타낸 것이다. 충격시험에서 사용된 추의 무게는 1kg이며 파괴단면적은 36cm²로서 이때의 높이를 구한 것이다. 폴리머계 재료의 충격강도는 2.1~2.6kg·cm/cm²로 다른 재료의 충격강도값 0.6~1.3kg·cm/cm²에 비해 월등히 높게 나타나고 있다. 이 값은 상대적인 비교치가 있을 때 사용가능한 것으로서 보수재료로서 우열성 판결기준이 없으므로, 이 결과만의 독립적인 이용은 어렵다고 하겠다.

4) 부착강도

부재와 보수재료간의 부착특성은 부착강도에 좌우되기 때문에 보수재료의 적용에 있어 부착강도는 중요하다. 본 연구에서 적용된 부착강도 시험방법은 Demura 방법을 사용하였으며, 시

〈표 11〉 부착강도 시험결과

계열	재료	부착강도(kg/cm ²)	
		시험치	평균
폴리머계	Epoxy	97.1, 101.4, 95.5	98
	Polyester	62.9, 61.7, 65.0	63.2
폴리머-시멘트계	Latex	20.1, 31.0, 21.7	24.3
	Premix	18.1, 15.9, 17.7	17.2
시멘트계	Grout	22.0, 15.7, 24.2	20.6
	급결재	31.6, 22.4, 24.1	26.0

험은 6×6×12cm 시험체를 보통 시멘트 콘크리트로 제작한 후 6×6×24cm 몰드에 각 재료를 타설하여 만든 시험체를 사용하였다. 이때 부착강도는 휨강도를 구하는 것과 동일한 식을 사용하여 구하였다.

표 11은 각 재료별 부착강도 시험결과를 요약한 것이다.

이 결과에서 폴리머계 재료의 부착강도는 Epoxy가 98kg/cm², Polyester가 63.2kg/cm²로서 폴리머-시멘트계나 시멘트계에 비해 월등히 높음을 알 수 있다.

2.2.3 실험결과 요약

재료실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 보수재료는 국내에서 구입이 용이한 것으로서 폴리머계 2종, 폴리머-시멘트계 2종, 시멘트계 2종 등 6종을 사용하였으며 이들은 모두 보수재료로서 적합한 것으로 나타났다.

2) 보수공법으로는 프리팩트 콘크리트식 주입공법과 스프레이 모르타식 팻칭공법을 적용하였으며 공법의 적용이 무리가 없는 것으로 나타났다.

3) 실험결과 사용된 보수재료의 물리적, 역학적 특성은 계절에 따라 큰 차이를 보였다. 따라서 손상원인과 정도에 따라 적합한 재료를 선택해야 할 것이다.

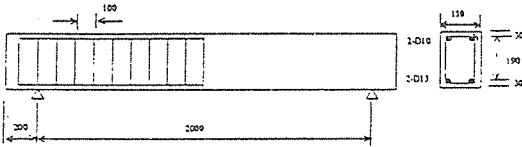
4) 이상의 재료실험결과 본 연구에서 선택된 보수재료 및 공법이 결손된 철근 콘크리트 휨부재를 보수하는데 충분히 적용가능한 것으로 사료된다.

3. 정적재하실험

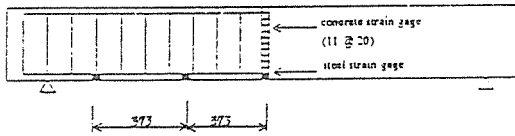
3.1 시험체제작

보시험체 단면치수는 그림 2와 같이 15cm×25cm, 유효높이(d=22cm), 인장철근 2-D13, 압

축철근 2-D10, 길이 2.4m의 복철근보로 제작하였으며 전단보강근은 D10철근을 10cm 간격으로 배근하였다. 철근량은 평형철근비의 약



(a) Specimen Detail



(b) The Positions of Gages

<그림 2> 보수시험체 제원 및 측정방법

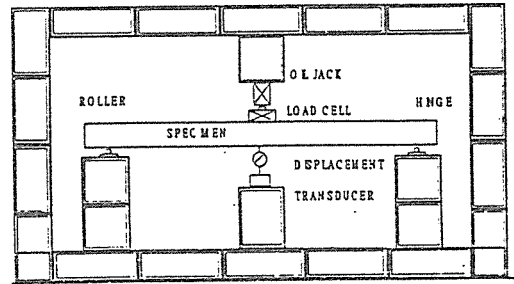
<표 12> 시험체변수 및 시험체명

시험 변수	시험체명	보수단면(cm)	비 고	
기본 시험체	Control	—	—	
인장축보수	20mm	150×15×2	T2L	Latex
			T2G	Grout
			T2E	Epoxy
			T2P	Polyester
	50mm	150×15×5	T5L	Latex
T5G			Grout	
T5E			Epoxy	
T5P			Polyester	
인장축팻칭 보수	20mm	150×15×2	SH2A	급결재
			SH2B	Premix
	50mm	150×15×5	SH5A	급결재
			SH5B	Premix
압축축 보수	C5L	30×15×5	C5L	Latex
			C5E	Epoxy
			C5P	Polyester

33%이며, 변수에 따른 시험체를 정리하면 표 12와 같다.

3.2 가력방법 및 측정방법

철근콘크리트보의 내력평가를 위한 하중재하는 그림 3과 같은 프레임에서 유압잭으로 지점



<그림 3. 하중재하방법>

중앙에서 재하하였으며, 재하하중량을 검출하기 위하여 유압잭 하부면에 로드셀을 설치하였다. 보수시험체의 변위를 측정하기 위하여 중앙부에 변위계를 설치하였으며 인장철근의 중앙부에 Strain Gage를 2개씩 타설전에 설치하였고 보 중앙부에 콘크리트 게이지를 설치하여 내력을 측정하였다. 이와같이 설치한 센서로 부터 나오는 데이터는 TDS301로 받아들여 컴퓨터를 이용하여 데이터를 정리하였다.

3.3 실험결과

3.3.1 정적최대하중

15개 보수시험체와 1개의 기본시험체에 대한 하중재하 결과는 표 13과 같다. 최대하중, 기본 시험체에 대한 보수시험체의 최대하중비, 파괴 형상을 나타내었다.

보수시험체는 전체적으로 휨파괴양상을 보였으나, 일부 시험체의 계면에서 균열발생되었다. 하중재하시 전 지간(200cm)에 걸쳐 휨균열이 고르게 발생하였다. 계열별로 보면은 폴리머-시멘트계와 시멘트계는 보수단면이 없는 기본시험체 보와 비교하여 볼때 전형적이고 규칙적인 휨 파괴 형상을 나타내고 있다. 폴리머계인 에폭시와 폴리에스터는 보수한 보 시험체가 취성적으로 파괴되어 균열이 중앙부에 집중되어 있는 것이 특이할만 하다. 반면 보수재와 콘크리트 구조체 사이의 계면파괴는 주로 에폭시를 제외한 보수재(라텍스, 폴리에스터)에서 주로 인장철근이

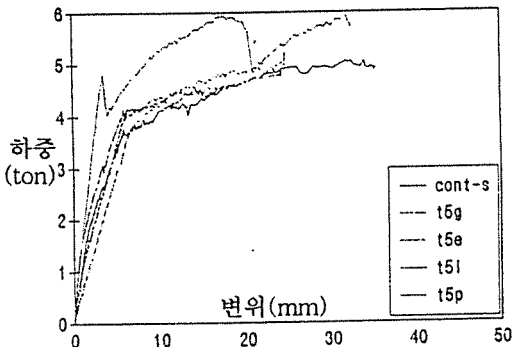
〈표 13. 시험체의 최종압축강도 및 파괴형태〉

Repair Material	Ratch Size (Cm)	Fail. Load (Ton)	Patched beam	Ratch Size (Cm)
			Patched beam	
Control	—	5.10	1.00	—
Epoxy	150X2	5.67	1.11	—
Grout	"	4.77	0.93	—
Latex	"	4.72	0.92	MINOR
Polyester	"	4.67	0.91	MINOR
Epoxy	150X5	4.60	0.90	—
Grout	"	5.22	1.02	MINOR
Latex	"	4.87	0.95	MINOR
Polyester	"	5.92	1.16	MINOR
Epoxy	30X5	4.55	0.89	—
Latex	"	4.75	0.93	—
Polyester	"	5.25	1.03	—
SH 급결제	150X2	4.87	0.95	MINOR
SH Premix	"	4.72	0.92	SEVERE
SH 급결제	150X5	4.97	0.97	MINOR
SH Premix	"	4.37	0.85	—

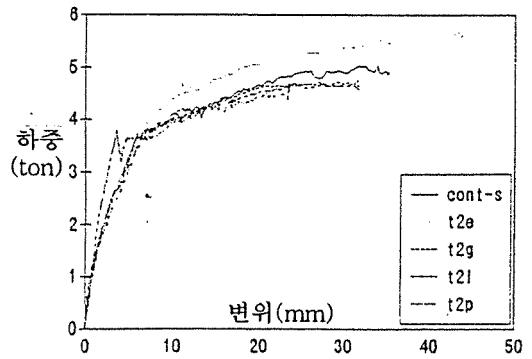
항복한 상태에서 미세하게 발생하였다. 그러나, 시멘트의 급결제를 팻칭한 시험체는 계면의 부착상태가 좋지 않은 이유로 큰 계면파괴가 일어났다.

3.3.2 하중 변위관계

에폭시로 보수한 보는 하중감소를 보이며, 시



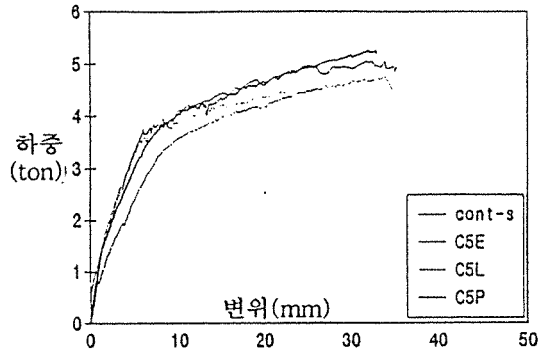
〈그림 4. 인장보수시험체(보수깊이 : 50mm)〉



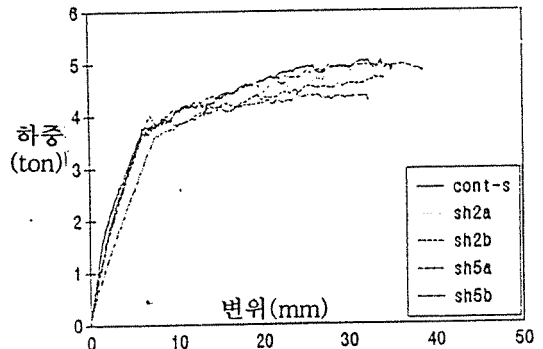
〈그림 5. 인장보수시험체(보수깊이 : 20mm)〉

멘트계에서는 대체적으로 강성이 다소 낮게 나타났으나 그 차이는 미소하였다. 폴리에스터로 보수한 보에서는 철근이 항복한 이후 취성파괴를 볼 수 있다.

인장축 보수시험체는 시험체별로 다소 강성의 차이가 나타났으나, 압축축 보수시험체에서는 강성의 차이는 크게 나타나지 않았다. 그림 4~



〈그림 6. 압축보수시험체(보수깊이 : 50mm)〉

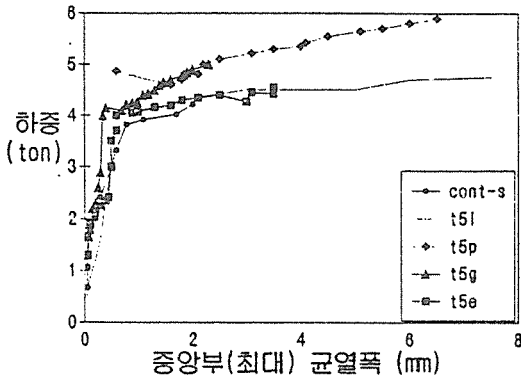


〈그림 7. Patching보수시험체〉

7은 변수별 보수시험체의 하중-변위관계를 나타낸 것이다.

3.3.3 균열크기 및 균열폭

균열크기 및 균열폭은 라텍스와 그라우트로 보수한 시험체인 경우 보수단면이 없는 기본시험체와 동일한 균열형태를 보였다. 팻칭 보수한



〈그림 8. 하중-균열폭 관계〉

보에서의 균열은 휨파괴에 의한 것과 동일하지만 계면에서 콘크리트와 보수재사이의 부착부족으로 인한 계면파괴를 볼 수 있었다. 폴리에스터로 보수한 시험체(T5P)는 철근이 항복한 후 균열이 급진전 되는 것으로 나타났다. 그림 8은 하중에 따른 보수시험체의 중양부 최대균열폭을 정리한 것이다.

3.3.4 실험결과 요약

폴리머계, 폴리머-시멘트계, 시멘트계의 보수재를 사용하여 보수된 보를 정적재하실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 보수재를 폴리머계, 폴리머-시멘트계, 시멘트계를 사용하여 보의 휨내력을 시험한 결과 대체로 보수재료로서 우수한 것으로 나타났다.
- 2) 주입법에 비하여 팻칭법에 의해 보수한 보의 내력이 다소 떨어지는 경향을 보인다.
- 3) 보수된 보의 내력은 보수깊이나 보수위치

에는 관계가 없는 것으로 나타났다.

4) 보수된 시험체는 대체로 휨균열양상으로 파괴되었으며 폴리머-시멘트계 보수재를 사용한 부재에서 접착계면의 파괴가 보였다.

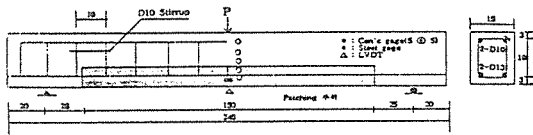
4. 동적재하실험

4.1 시험체제작

동적재하실험에서는 보수재료 및 응력수준을 변수로 하여 실험하였다. 보수재료는 폴리머계(Epoxy, Polyester), 폴리머-시멘트계(Latex, Premix)와 시멘트계(Grout)재료의 3종 5가지이며, 보수 깊이는 인장부 중앙깊이 5cm(깊이는 150cm)로 동일하며, 응력수준은 정적실험으로 부터 도출된 파괴강도의 60, 70 및 80%이다. 기본(무보수)시험체 3개와 보수시험체 15개(각 재료별로 3EA)가 제작되어 총 18개의 시험체가 제작되었다. 변수별 시험체의 현황은 표 14와 같다.

〈표 14. 변수별 시험체명(단위 : ton)〉

Specimen		최대하중 (Pmax)	최소하중 (Pmin)	정적최대 하중	
무보수	기본시험체	CON1	4.08	0.41	5.10
		CON2	3.57	0.36	
		CON3	3.06	0.31	
폴리머계	에폭시 (Epoxy)	DT5E1	3.80	0.38	4.60
		DT5E2	3.30	0.33	
		DT5E3	2.80	0.28	
	폴리에스터 (Polyester)	DT5P1	4.76	0.48	5.92
		DT5P2	4.17	0.42	
		DT5P3	3.57	0.36	
폴리머-시멘트계	라텍스 (Latex)	DT5L1	3.84	0.38	4.87
		DT5L2	3.36	0.34	
		DT5L3	2.88	0.29	
	프리믹스 (Premix)	DSH5B1	3.44	0.34	4.97
		DSH5B2	3.01	0.30	
		DSH5B3	2.58	0.26	
시멘트계	그라우트 (Grout)	DT5G1	4.20	0.42	5.22
		DT5G2	3.60	0.36	
		DT5G3	3.10	0.31	



〈그림 9〉 측정방법 및 하중재하방법

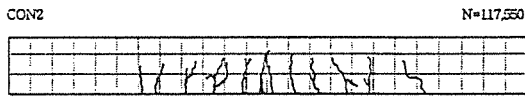
4. 2 가력방법 및 측정방법

피로시험은 Shimadzu 사 제품인 50Tonf 용량(stroke = $\pm 50\text{mm}$) 피로시험기를 사용하였다. 재하방법은 그림 9와 같이 정적실험방법과 동일한 3점휨 하중재하방법으로서 1회재하시에 정적실험을 실시한 후, 10회까지 정적으로 재하하였다. 그 이후는 반복하중의 최소값과 최대값을 일정하게 유지하면서 2Hz의 속도로 단진재하하였다. 주기적으로 최소하중에서 최대하중까지의 균열성장과정 및 중앙처짐, 콘크리트의 변형을 및 철근의 인장변형을, 그리고 반복회수에 따른 철근의 잔류 변형율등을 DAS-ON (Data Aquisition System)을 이용하여 측정하였다. 동적재하 하중은 정적극한강도의 60%, 70% 및 80%로 하였으며, 재하하중비(P_{\min}/P_{\max})는 0.1로 일정하게 하였다.

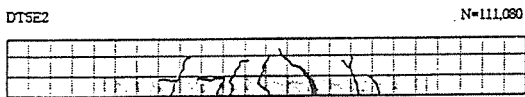
4. 3 실험결과

4. 3. 1 균열 및 파괴양상

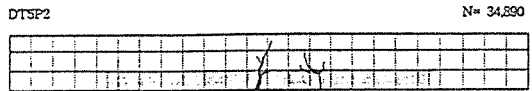
응력수준에 관계없이 기본(무보수) 시험체와



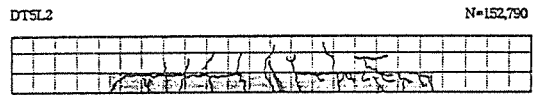
〈그림 10. 기본시험체〉



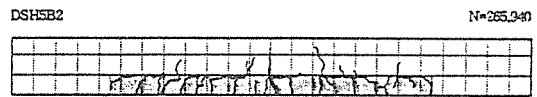
〈그림 11. 에폭시(Epoxy)보수시험체〉



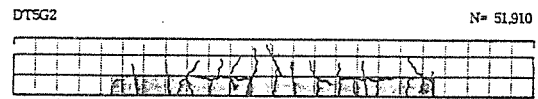
〈그림 12. 폴리에스터(Polyester)보수시험체〉



〈그림 13. 라텍스(Latex)보수시험체〉



〈그림 14. 프리믹스(Premix)보수시험체〉



〈15. 그라우트(Grout)보수 시험체〉

에폭시, 폴리에스터 및 그라우트 보수시험체에 대한 균열진전양상은 전형적인 휨파괴 형태를 나타내고 있으나 폴리머-시멘트계인 라텍스 및 프리믹스 보수시험체의 경우 콘크리트 모체(Matrix)와 보수부 위의 접합면(Interface)에서 접합면을 따라 균열이 진전되면서 휨파괴 양상을 보였다. 그림 10~15는 응력수준 70%에 대한 보수재료별 반복회수에 따른 피로균열진전양상이다. 여기서, N은 부재가 파괴될 때의 반복회수를 나타낸 것이고 응력수준 60%와 80%에서의 보수재료별 반복회수에 따른 균열진전양상은 응력수준 70%와 거의 유사하게 나타났다.

보수시험체의 반복회수에 따른 시험체의 파괴양상은 크게 2가지 형태로 나타났다. 즉 휨파괴와 보수된 계면에서 균열이 발생된 후 파괴에 이르는 양상을 보였다. 폴리머계보수시험체는 파괴될 때까지 적은 수의 균열만이 발생하였으며 따라서 균열폭이 다른 시험체보다 상대적으로 크게 나타났다.

4. 3. 2 초기중앙처짐

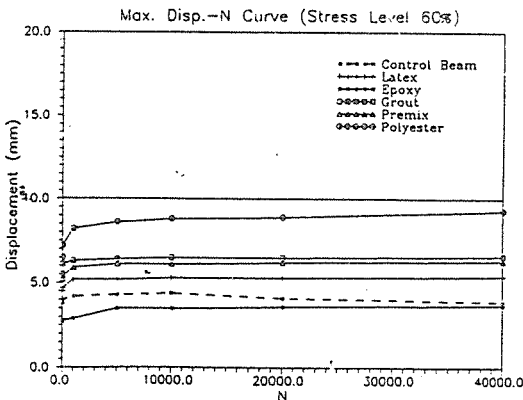
라텍스(Latex), 프리믹스(Premix)보수시험체는 기본(무보수)시험체와 유사한 거동을 보여 거의 비슷한 강성도를 갖고 있는 것으로 나타났고 폴리머계인 에폭시(Epoxy) 및 폴리에스터(Polyester) 보수시험체의 강성도는 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 또한, 보수재료와 응력수준에 관계없이 반복회수가 1회 일때 가장 큰 영구변형을 일으켰으며 이러한 현상은 그라우트(Grout)보수시험체에서 두드러지게 나타났다. 반복회수의 증가에 대한 중앙처짐의 증가율은 반복회수가 증가함에 따라 현저히 감소하는 경향을 보였다.

4. 3. 3 장기중앙처짐

반복회수에 따른 하중-중앙최대처짐은 응력수준에 관계없이 폴리에스터 보수시험체가 가장 크게 나타났고 에폭시보수시험체가 가장 작은 것으로 나타났다. 아래의 그림은 적용된 각 응력수준에서 반복회수 4만회까지의 보수재료별 최대처짐량을 나타낸 것이다.

1) 응력수준 60%인 경우 :

반복회수에 관계없이 중앙점 최대처짐은 폴리에스터보수시험체가 가장 크게 나타났고, 에폭

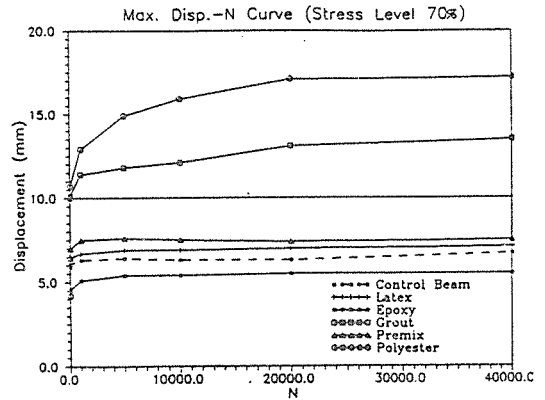


<그림 16> 응력수준에 따른 최대변위

시보수시험체가 가장 작게 나타났다. 대부분의 보수시험체가 기본시험체와 유사한 경향을 보였다.

2) 응력수준 70%인 경우 :

폴리에스터, 그라우트보수시험체의 순으로 처짐이 크게 발생하였으며, 에폭시보수시험체가

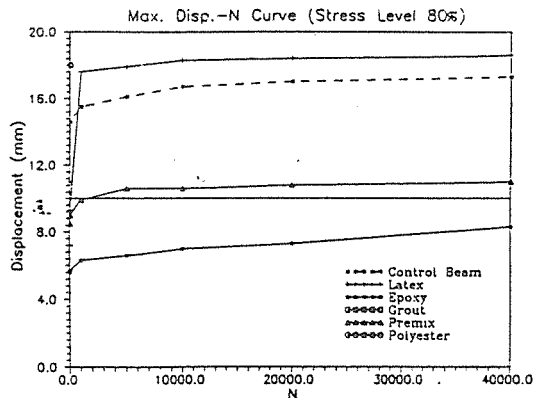


<그림 17> 응력수준에 따른 최대변위

가장 적은 처음을 보였다. 그의 대부분의 보수시험체의 변위는 약간의 차이가 있었으나 대체로 기본시험체와 유사한 경향을 보였다.

3) 응력수준 80%인 경우 :

에폭시보수시험체가 가장 적은 처짐을 보였으며, 라텍스보수시험체는 기본시험체와 유사한



<그림 18> 응력수준에 따른 최대변위

거동을 보였다. 그외 나머지 시험체는 기본시험체보다 적은 처짐량을 보였다.

4.3.4 피로수명(N)과 피로강도

피로시험결과로부터 보수시험체의 피로강도 및 피로수명의 비교결과, 기본시험체와 가장 유사한 성능을 보인 시험체는 폴리머-시멘트계인 라텍스 및 프리믹스보수시험체로 나타났다. (표 15) 폴리머-시멘트계보수시험체의 파괴시 반복회수와 기본시험체의 파괴시 반복회수는 상대적

으로 적게 나타났다.

철근 콘크리트 보의 100만회에 대한 최대응력 수준은 연구자들마다 다르게 보고 하고 있으나, 일반적으로 최대 정적강도의 50% 내외 또는 60-70%로 알려져 있다. 표 15에서 나타난 것과 같이 피로시험결과를 회귀분석함으로써 산출된 반복회수 100만회에 대한 피로강도를 요약하면 표 16과 같다. 피로수명(N_f) 100만회에 대한 피로강도는 기본(무보수) 시험체 50.4%, 에폭시(Epoxy) 보수시험체 31.1%, 폴리에스터(Polyester) 보수시험체 54.9%, 라텍스(Latex) 보수시험체 47.3%, 프리믹스(Premix) 보수시험체 50.9% 그리고 그라우트(Grout) 보수시험체 57.6%로 각각 나타났다.

〈표 15〉 시험체별 회귀분석결과

Specimen		응력수준 (%)	파괴시 회수 (N)	회귀분석 결과식(S)
무보수	기본시험체	80	69,840	$-10.437 \times \ln(N) + 194.511$
		70	117,550	
		60	425,880	
폴리머계	에폭시 (Epoxy)	80	51,210	$-16.702 \times \ln(N) + 261.8371$
		70	111,080	
		60	162,040	
	폴리에스터 (Polyester)	80	340	$-3.200 \times \ln(N) + 99.108$
		70	34,890	
		60	60,100	
폴리머-시멘트계	라텍스 (Latex)	80	57,390	$-11.592 \times \ln(N) + 207.423$
		70	152,790	
		60	318,490	
	프리믹스 (Premix)	80	107,140	$-13.270 \times \ln(N) + 234.272$
		70	265,940	
		60	471,420	
시멘트계	그라우트 (Grout)	80	460	$-3.014 \times \ln(N) + 99.200$
		70	51,910	
		60	176,390	

기본(무보수) 시험체에 대한 보수시험체의 피로강도비는 각각 에폭시(Epoxy) 보수시험체가 0.62, 폴리에스터(Polyester) 보수시험체가 1.09, 라텍스(Latex) 보수시험체가 0.94, 프리믹스(Premix) 보수시험체가 1.01, 그리고 그라우트(Grout) 보수시험체가 1.14로 나타났다.

4.4 실험결과 요약

폴리머계, 폴리머-시멘트계 및 시멘트계로 보수한 시험체의 피로시험으로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 피로하중하의 보수시험체의 균열 및 파괴 양상에서, 응력수준에 관계없이 폴리머계와 시멘트계로 보수한 시험체는 전형적인 휨파괴 형태를 나타내고 있다. 반면에 폴리머-시멘트계로 보수한 시험체는 콘크리트 모체와 보수부위의 접합면에서 접합면을 따라 균열이 진전되면서 휨파괴에 이르는 양상을 보였다.

2) 피로하중하의 보수시험체의 중앙 최대처짐량에서, 응력수준에 관계없이 폴리에스터(Polyester)보수시험체가 가장 작은 것으로 나타났다. 사용하중 상태인 응력수준 60%에서는

〈 표 16〉 시험체별 회귀분석결과(N : 100만)

시험체 구분	CON	DT5E	DT5P	DT5L	D8H5B	DT5G
피로강도 (%)	50.4	31.1	54.9	47.3	50.9	57.6
보수시험체 / 기본시험체	1.0	0.62	1.09	0.94	1.01	1.14

모든 보수시험체가 기본시험체와 유사한 경향을 보였으나, 응력수준이 증가(70%, 80%)하면 폴리머-시멘트계(Latex, Premix) 보수시험체만이 기본시험체와 유사한 경향을 보였다.

3) 보수재료별 희귀분석결과로 예측된 피로수명 100만회에 대한 피로강도에 대한 비교결과, 콘크리트 모체와 유사한 재료적 특성을 지닌 폴리머-시멘트계 보수시험체가 기본시험체의 피로거동 특성과 가장 유사한 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

●재료시험결과로부터.

1) 선정된 보수재료의 역학적 성질 및 물리적 성질은 보수재료로서 충분한 성능을 보였다.

2) 적용된 보수공법인 주입공법과 팻칭공법은 적절한 것으로 나타났다.

●정적재하시험결과로부터.

1) 선정된 보수재료 보수된 보수시험체의 정적재하시험결과, 폴리머-시멘트계 보수시험체의 파괴양상은 접착계면에 균열이 발생한 후 휨파괴되었으며, 나머지 시험체는 휨파괴양상을 보였다.

2) 모든 보수시험체의 휨내력은 충분한 것으로 나타났다.

3) 주입법에 비하여 팻칭법에 의해 보수한 보의 내력이 다소 떨어지는 경향을 보였다.

4) 보수깊이나 보수위치는 보수된 보의 내력에 영향을 미치지 않았다.

●동적재하시험결과로부터.

1) 보수시험체에 대한 파괴시험결과, 폴리머-시멘트계 보수시험체의 파괴양상은 접착계면에 균열이 발생한 후 휨파괴되었으며, 나머지 시험체는 휨파괴양상을 보였다.

2) 중앙점 최대처짐은 응력수준에 관계없이

폴리에스터보수시험체가 가장 크게 나타났고, 에폭시보수시험체가 가장 작은 것으로 나타났다. 응력수준이 높을수록 폴리머-시멘트계 보수시험체가 기본시험체와 가장 유사한 경향을 보였다.

3) 파괴시 반복회수 등 피로특성분석결과, 폴리머-시멘트계보수시험체가 기본시험체의 피로특성과 가장 유사한 것으로 나타났으나 접착계면의 균열발생 등 부착특성에 대한 보다 더 많은 연구가 필요하다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 尹 盛源, “補修·補強用 에폭시 樹脂 技術 資料”, (株) T. S. BOND 建設工業, 1982

2. 한국 콘크리트 학회 “콘크리트 구조물의 평가 및 보수·보강기술” 제1회 한·일 콘크리트학회 공동 세미나, 1994

3. Allen R.T.L., Edwards S.C. and Shaw J.D.N., “Repair of Concrete Structures”, Blackie Academic & Professional, 1993, pp. 37~55.

4. Abu-Tair et al, “The effectiveness of the Resin Injection Repair Method for Cracked RC Beams”, Structural Engineer, Vol. 69, No. 19, 1991, pp. 335~341

5. ACI “Repair of Concrete Structures Assessments, Methods and Risk”, SCM-21, 1989, pp 514

6. Chandra S., Ohama Y., “Polymers in Concrete”, CRC, 1994

7. Daniel Schiff, “Dynamic Analysis and

Failure Modes of Simple Structures", John Wiley & Sons

8. Hiroshi Ike, Katsunori Demura, "Materials and Methods for Repair of Reinforced Concrete Structures", KCI, 1994, pp. 29~38.

9. Hahn, H.T. and Kim, R.Y. (1976), "Fatigue Behavior of Composite Laminates", Journal of Composite Materials Vol. 10, April 1976.

10. Maekawa, W., Itsutuji, S. and Fuji, (1986), "Study on the Low-cycle and High-Cycle Fatigue Strength of FRP Laminate with a Notch. "일본재료학회지, 제 35권 제 393호, 1986. 6, pp. 636~641

11. Mansur M.A. and Ong K.C.G., "Epoxy Repaired Beams", Concrete International, 1985, Oct., pp. 46~50.

12. Okuda, S., Nishina, S. and Wadanabe, T. (1986), "On Bending Fatigue Behaviour of Adhesive Bonded Joint of FRP, "일본재료학회지, 제35권 제392호, 1986. 5, pp. 539~5444. Ray W. Clough, Joseph Penzien, "Dynamics of Structures", 2nd ed, McGraw-Hill, 1993

13. Sugama T., Kukacka L. E., and Horn W., "Water-Compatible Polymer Concrete Materials for Use in Rapid Repair Systems for Airport Runways", Brookhaven National Laboratory Upton, New York, 1981

기술서적출간

特殊 콘크리트 製造, 特性 및 活用

레미콘산업의 기술개발과 새로운 기술정보 보급을 목적으로 당협회는 오랜기간의 준비와 동시에 저자의 연구성과를 집대성하여 드디어 「특수콘크리트-제조, 특성 및 활용」을 출간하게 되었습니다.

레미콘 관계실무자 및 연구자에 유익한 참고서로서 역할을 다할 것으로 확신합니다.

■ 주요내용

- 고성능 및 고강도 콘크리트
- 폴리머 콘크리트
- 섬유 콘크리트
- 경량 콘크리트

■ 저 자 : 오 병환(서울대 토목공학과 교수)

■ 면 수 : 국판 204쪽

■ 발 행 : 한국레미콘공업협회

■ 보 급 가 : 8,000원

■ 문 의 : 서울 강남구 역삼동 726(아세아 타워 6층) 한국레미콘공업협회 기획과
TEL : (02)566-7162, FAX : (02)554-7420