

# RC구조물 접착 보수·보강용 에폭시수지 및 보강재료의 재료특성 평가

## Evaluation of Reinforced Materials and Epoxy Resins for Adhesion Repairing-Reinforced of RC Construction

○박 용 규\*    주 은 희\*    이 건 철\*\*    변 항 용\*\*\*    우 종 원\*\*\*\*    한 천 구\*\*\*\*\*  
Park, Yong-Kyu    Joo, Eun-Hi    Lee, Gun-Cheol    Byun, Hang-Yong    Woo, Jong-Wan    Han, Cheon-Goo

### Abstract

This study investigates material properties of epoxy resins and reinforced materials for adhesion repairing-reinforced of RC construction. According to the test, elasticity modulus of mortar indicated 16-26(GPa) and that of concrete was 18-27(GPa). It became decreased as mixture proportion, W/C and fluidity of both mortar and concrete increased. In addition the elasticity modulus of epoxy resins exhibited around 45.3-220(GPa), while that of steel plate and Carbon Bar indicated 338(GPa) and 34.1(GPa), respectively. It is obvious that individual materials had big different value of elasticity modulus. Meanwhile, thermal expansion coefficients of mortar was  $10\sim 13 \mu \epsilon / ^\circ C$  and that of concrete was  $9\sim 11 \mu \epsilon / ^\circ C$ . The increase of mixture proportion and W/C resulted in lower value of thermal expansion coefficients and the increase of flow and slump exhibited slightly higher value. The epoxy resin indicated  $41\sim 54 \mu \epsilon / ^\circ C$  which is 4-5 times larger value than concrete and steel plate and Carbon Bar was  $11.93 \mu \epsilon / ^\circ C$  and  $-1.68 \mu \epsilon / ^\circ C$ , respectively. Hence, the adhesion strength of the epoxy resins should be considered before it is used in field condition, due to different thermal expansion coefficient of each material.

키 워 드 : 모르타, 콘크리트, 탄성계수, 선팅창계수, 에폭시, 탄소섬유, 강판

Keywords : Mortar, Concrete, Elasticity modules, Thermal expansion coefficients, Epoxy, Carbon fiber sheet, Steel plate

## 1. 서 론

최근 국내에서 주로 사용되고 있는 대표적인 보수보강공법으로는 에폭시수지 접착제로 탄소섬유를 접착 보강한 탄소섬유보강공법 및 강판을 접착 보강하는 강판보강공법이 있다. 그런데, 이러한 공법을 활용함에 있어 주요한 문제점<sup>1)</sup>으로 지적되는 것은 사진 1과 같이 보강재료와 구조체가 서로 분리되어 박리되는 것으로, 박리현상이 발생하면 보강의 의미를 완전히 상실하게 된다. 이런 박리 현상의 중요한 원인으로서는 각 재료간의 물성(선팅창계수, 탄성계수 등)의 차이를 들 수 있다.

따라서 본 연구에서는 에폭시수지를 접착제로 사용하는 대표적인 공법인 탄소섬유보강공법과 강판보강공법에서 구조체와 보강재료의 재료들의 물성을 분석하여 에폭시 접착 보강재료들의 박리 현상을 구명해보고자 한다.

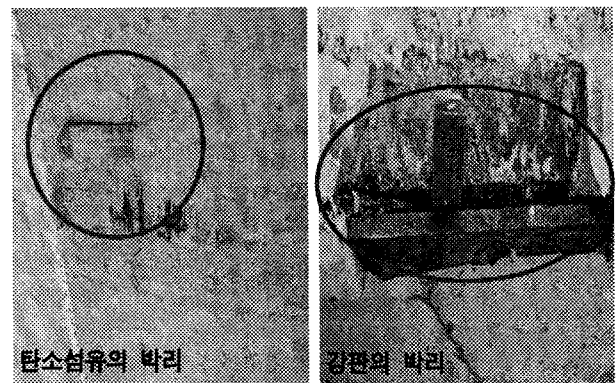


사진 1. 탄소섬유와 강판의 박리 사진

## 2. 실험계획 및 실험방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합사항은 표 1, 2와 같다.

먼저 실험계획으로써 구조체로서 모르타는 배합비 1:2, 1:3, 1:4의 3수준에 대하여 각각의 수준에서 목표 플로우를 값을 120, 150, 180 mm의 3수준으로 변화시켜 9배치를 실험계획 하

\* 정희원, 청주대학교 대학원 석사과정

\*\* 정희원, 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원

\*\*\* 정희원, (주) 고려 E&C 대표, 청주대학교 박사과정

\*\*\*\* 정희원, (주) 스페이스차림 대표이사, 청주대학교 박사과정

\*\*\*\*\* 정희원, 청주대학교 건축공학부 교수

였고, 콘크리트는 모든 배합에 있어서 목표 공기량  $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하도록 하고 W/C 50, 60, 70% 3수준에 대하여 각각의 W/C에 대해 목표 슬럼프를 8, 15, 21cm의 3수준으로 변화시켜 총 9배치를 계획 하였다. 접착제로 쓰이는 에폭시는 용도별로 탄소섬유용, 균열주입용, 케미컬정착용 3수준으로 실험계획하였고, 보강재는 강판(이하 St)과 탄소봉(이하 Ca) 2수준에 대하여 실험계획 하였다.

실험사항으로는 경화 상태에서 탄성계수와 선팽창계수를 측정하였다.

표 1. 실험계획

실험체 종류	배합사항			실험방법
	액상형	2액형	탄소섬유용(EA) 균열주입용(EB)	
에폭시 (3)	졸형	1액형	케미컬정착용(EC)	선팽창계수 탄성계수
일반 모르터 (9)	배합비(C:S)	1:2, 1:3, 1:4		
	목표플로우 (mm)	120, 150, 180		
	W/C(%)	50, 60, 70		
콘크리트 (9)	목표슬럼프 (cm)	8, 15, 21		
	목표공기량 (%)	4.5±1.5		
보강재 (2)	강판, 탄소봉			

일반 모르터의 W/C는 각각의 목표 플로우를 만족하는 W/C를 적용하였음.

표 2. 배합 사항

기호	W/C (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	AE/C (%)	SP/C (%)	단위질량 (kg/m <sup>3</sup> )			
						C	S	G	
2-12*	35	233	100	0	0	686	1373	0	
2-15	38	254				668	1336		
2-18	40	263				659	1318		
3-12	45	229				509	1527		
3-15	49	243				500	1500		
3-18	56	270				482	1446		
4-12	59	236				400	1600		
4-15	67	259				387	1548		
4-18	75	281				375	1502		
50-8*	50	175				43	0.0025		0
50-15		180	44	0.1	360	741		988	
50-21		185	45	0.2	370	748		958	
60-8		60	175	44	0	292		771	1028
60-15			180	45	0.1	300		780	998
60-21			185	46	0.2	308		788	969
70-8	70	175	45	0	250	804	1029		
70-15		180	46	0.1	257	813	1000		
70-21		185	47	0.2	264	822	971		
EA		각 회사의 시방 배합에 따름							
EB									
EC									

\* 2 - 12 배합비, 50 - 8 플로우, W/C, 슬럼프

## 2.2 사용재료

시멘트는 국내산 H사의 보통 포틀랜드시멘트 (밀도: 3.15 g/cm<sup>3</sup>, 분말도: 3,483cm<sup>2</sup>/g)를 사용하였고, 골재로서 잔골재는

충북 옥산산 강모래(밀도: 2.51g/cm<sup>3</sup>, 조립률: 2.90), 굵은골재는 25mm 쇄석골재(밀도: 2.63g/cm<sup>3</sup>, 조립률: 7.04)를 사용하였다. 혼화제로서, AE제 및 SP제는 빈줄계 및 나프탈렌계를 사용하였다. 에폭시는 국내에서 일반적으로 보수·보강에 사용되고 있는 것을 사용하였다.

## 2.3 실험방법

모르터의 혼합은 KS L 5109에 의한 방법으로 실시하였고, 콘크리트는 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였으며, 에폭시의 혼합은 각 회사 제품의 시방서에 의거하여 실시하였다.

경화 상태의 실험으로 탄성계수는 KS F 2438, KS B 0802에 의거 실시하였으며, 선팽창계수는 KS F 2608에 의거 실시하였다. 또한, 강판의 인장시험편은 KS B 0801에 의거하여 제작하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 탄성계수

#### 1) 응력-변형 곡선

그림 1-4는 각 재료들의 응력-변형 곡선을 나타낸 것이다. 모르터의 경우 최대응력시의 변형율은  $2.0 \times 10^{-3}$  전후 정도로 배합비가 증가할수록 변형율이 커져서 인성적인 특성으로 나타났으며, 각 배합비에서 플로우별 차이는 플로우가 커질수록 최대강도가 작아지는 것으로 나타났다. 콘크리트의 경우는 최대응력시의 변형도가  $1.5 \times 10^{-3}$  전후로 W/C와 슬럼프가 커질수록 최대강도가 작게 나타났다. 또한, 에폭시의 경우는 최대응력시의 변형도가  $0.5 \sim 1.2 \times 10^{-3}$  전후로 모르터 및 콘크리트 보다 작은 변형율을 보였으며 보강재로서 강판과 탄소봉의 최대 응력시의 변형율은  $2.5 \times 10^{-3}$  및  $9.1 \times 10^{-3}$ 로 변형이 비교적 큰 것을 알 수 있었다. 이것은 응력에 대한 구조체, 접착제 및 보강재 서로간에 변형에 따른 응력의 차가 큰 것을 알 수 있다.

표 3. 각 재료의 탄성계수

시멘트 모르터		콘크리트		에폭시 및 보강재	
기호	E <sub>m</sub> (GPa)	기호	E <sub>c</sub> (GPa)	기호	E(GPa)
2-12	26.2	50-8	27.0	EA	172
2-15	23.2	50-15	26.0	EB	45.3
2-18	20.4	50-21	24.0		
3-12	24.9	60-8	26.9	EC	338
3-15	23.4	60-15	23.5		
3-18	18.2	60-21	20.8		
4-12	21.1	70-8	20.7	St	338
4-15	17.1	70-15	19.8		
4-18	15.4	70-21	18.0	Ca	34.1

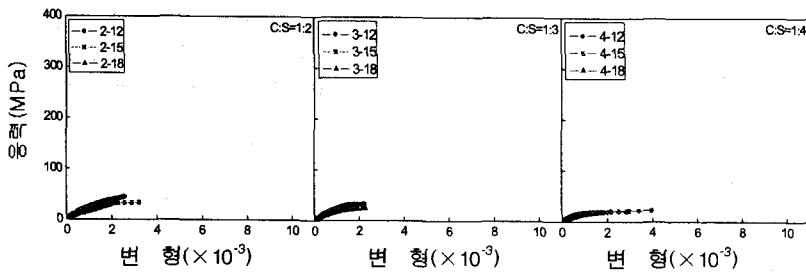


그림 1. 모르터의 응력-변형곡선

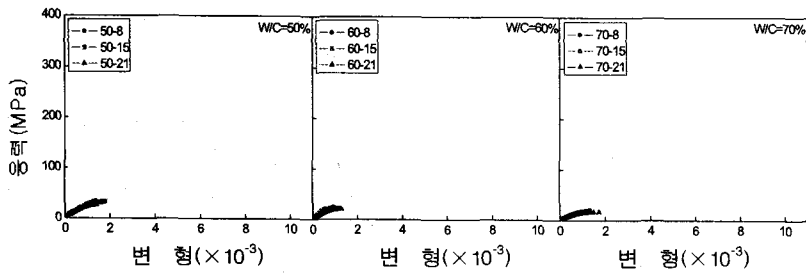


그림 2. 콘크리트의 응력-변형곡선

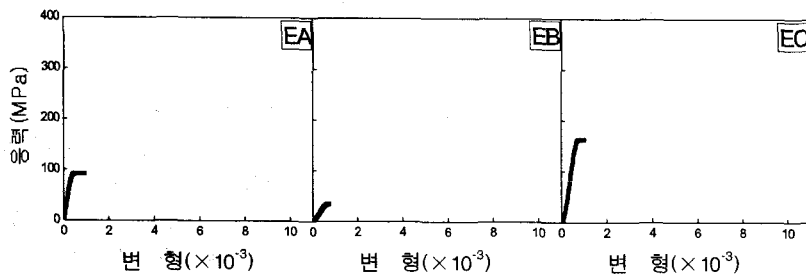


그림 3. 에폭시의 응력-변형곡선

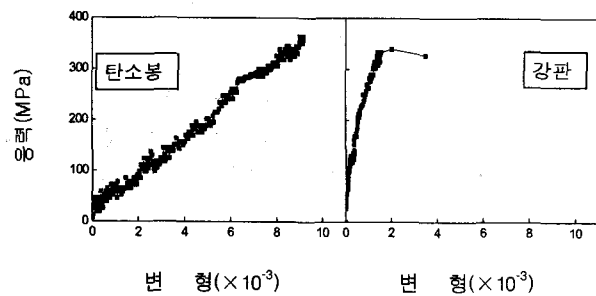


그림 4. 탄소섬과 강판의 응력-변형곡선

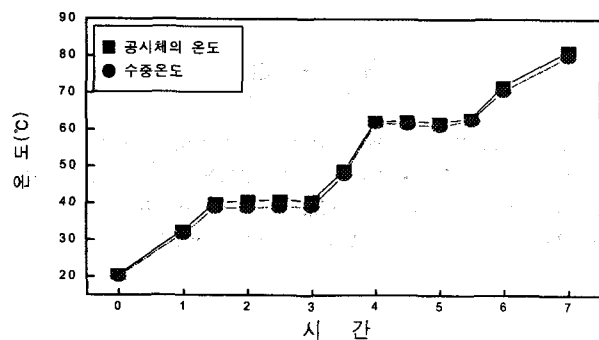


그림 5. 공시체의 온도상승

## 2) 탄성계수

표 3은 구조체와 에폭시 및 보강재의 탄성계수 실험결과를 나타낸 것이다.

모르터의 경우 배합비별로는 1:2가 가장 큰 탄성계수를 나타냈고, 빈배합으로 갈수록 탄성계수가 작아지는 것으로 나타났다. 또한, 각 배합비에서 플로우치별로는 플로우치가 커질수록 탄성계수는 작아지는 것으로 나타났는데, 이는, 배합사항에 있어서 플로우 증가에 따른 W/C의 증가에 의한 것으로 판단된다. 콘크리트 탄성계수의 경우 W/C에 따라 18~27 (GPa) 정도로 나타났으며 W/C가 작아질수록 고강도화에 기인하여 커지는 것으로 나타났다. 각 W/C에서 목표 슬럼프치별로는 슬럼프가 클수록 작은 것으로 나타나고 있는데, 이는 슬럼프치가 클수록 잔골재율을 증가시켜 배합 설계함에 따른 것으로 사료된다. 에폭시의 경우 탄성계수는 45.3~220 (GPa)로 제품의 사용용도나 회사에 따라서 큰 차이를 나타내고 있어 사용 용도에 따라서 제품의 선택에도 고려가 필요 할 것으로 사료된다. 보강재로서 강판은 모르터의 약 10배 정도의 값을 보였고 또한 탄소섬도 높은 탄성계수 값을 보였다.

## 3.2 선폽창계수

### 1) 공시체의 온도 측정 결과

그림 5는 실험조의 온도 상승에 따른 공시체의 온도 상승을 나타낸 것이다. 온도 변화에 따른 모르터와 콘크리트의 열팽창계수 변화를 측정하기 위해서 본 실험에서는 수중에서의 가열에 의한 방법을 채용하였다. 国森 등<sup>2)</sup>에 의하면 실험조의 온도 상승에 따라 공시체의 중심부 온도도 거의 일치하게 상승하고 있다고 보고하고 있는데, 본 실험 결과에서도 이와 유사한 경향으로 나타났다.

### 2) 선폽창계수 측정 결과

표 4는 구조체와 에폭시 및 보강재의 선폽창계수를 나타낸 것이고, 그림 6-8는 각 재료들의 온도변화에 따른 선폽창변형-온도의 관계를 나타낸 것이다.

선폽창계수는 모르터의 경우  $10\sim 13 \mu\epsilon / ^\circ\text{C}$ , 콘크리트의 경우는  $9\sim 11 \mu\epsilon / ^\circ\text{C}$ 로 나타났고, 에폭시의 경우는  $41\sim 54 \mu\epsilon / ^\circ\text{C}$  정도로 나타났는데, 이것은 에폭시가 모르터와 콘크리트보다 온도 변화에 의해 약 4~5배 정도의 선폽창변형을 일으키는 것을 알 수 있다. 보강재인 강판의 경우,  $11.93 \mu\epsilon / ^\circ\text{C}$ 로 모르터와 유사한 값으로 나타났지만 탄소섬의 경우는  $-1.68 \mu\epsilon / ^\circ\text{C}$ 로 오히려 온도가 증가할수록 모르터, 콘크리트 및 에폭시수지와는 정반대로 수축을 하는 것으로 나타났다.

그림 9은 각 재료들의 선폽창계수를 비교하여 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 구조체, 에폭시 및 보강재는 온도의 증가에 따른 큰 차이의 선폽창계수로 나타났다. 이것은 에

표 4. 각 재료의 선팽창계수

시멘트 모르타		콘크리트		에폭시 및 보강재	
기호	선팽창계수 ( $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ )	기호	선팽창계수 ( $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ )	기호	선팽창계수 ( $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ )
2-12	10.5	50-8	8.9	EA	50.86
2-15	11.3	50-15	8.7	EB	41.89
2-18	11.1	50-21	9.0		
3-12	11.4	60-8	9.3	EC	53.29
3-15	11.7	60-15	9.0		
3-18	11.9	60-21	9.4	St	11.93
4-12	12.0	70-8	9.9		
4-15	12.4	70-15	10.2	Ca	-1.68
4-18	12.2	70-21	10.7		

폭시 접착 보수보강재들이 주위 환경에 영향을 받을 경우 선팽창계수의 차이로 인하여 구조체와 보강재간의 박리를 발생시킬 수 있음을 의미한다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 에폭시 접착 보수보강재의 경우, 주위 환경에 영향을 받을 경우 발생할 수 있는 박리 현상에 대한 메카니즘을 구명하기 위한 것으로 그 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 탄성계수는 모르타의 경우 16~26(GPa), 콘크리트의 경우는 18~27(GPa) 정도로 나타났고, 모르타와 콘크리트는 배합비, W/C 및 유동성이 커질수록 작아지는 것으로 나타났다. 또한, 에폭시의 경우 45.3~220(GPa) 정도로 나타났으며, 보강재로서 강판은 338(GPa), 탄소봉은 34.1(GPa)으로 각 재료들의 탄성계수 차이가 큰 것으로 나타났다.

2) 선팽창계수는 모르타의 경우 10~13  $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ , 콘크리트는 9~11  $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$  정도로 나타났고, 배합비 및 W/C가 커질수록 증가하고, 플로우치 및 슬럼프치가 증가할수록 약간 증가하는 것으로 나타났으나 큰 차이는 아닌 것으로 판단된다. 에폭시의 경우는 41~54  $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$  정도로 다른 재료에 비해 4~5배의 큰 차이를 나타냈으며 보강재로서 강판은 11.93  $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ , 탄소봉의 경우는 -1.68  $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 로 수축하는 것으로 나타났다.

이상을 종합해보면 선팽창계수의 상이에 의한 온도변화 등을 고려할 때의 에폭시 접착제의 부착력에 대한 재고가 필요 할 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

1. 변항용; 수로교의 안전, 바른미디어, pp. 79~107, 2004. 1.
2. 国森亮平ほか; 若材齡コンクリートの熱膨脹係數に関する実験的研究, 콘크리트工学年次論文集, pp.1033~1038, 2000. 2.
3. SK케미칼; SK탄소섬유시트공법 기술자료, 1998. 6.

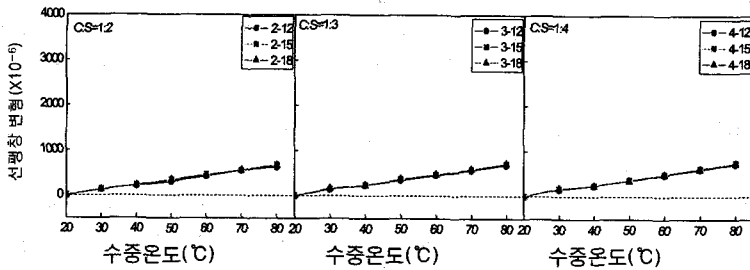


그림 6. 모르타의 선팽창변형-수온곡선

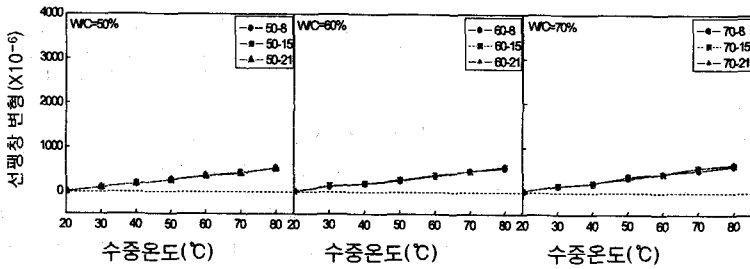


그림 7. 콘크리트의 선팽창변형-수온곡선

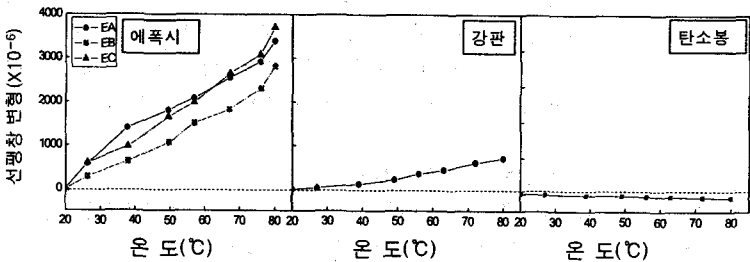


그림 8. 에폭시 및 보강재의 선팽창계수

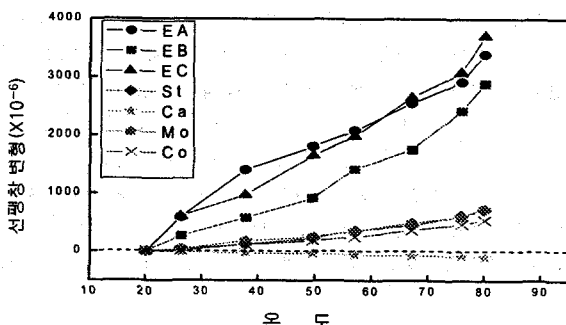


그림 9. 선팽창계수 비교