

에폭시 레진의 장기적인 특성연구

A Study on the Long term Properties of Epoxy Resin

한 만 업*
Han, Man Yop

송 병 표**
Song, Byeong Pyo

이 원 창**
Lee, Won Chang

연 규 석***
Yeon, Kyu Seok

Abstract

As the reinforced concrete structures are aged, repair and rehabilitation materials and techniques have been developed. However, most of the repair materials and methods are imported from abroad and theoretical study and repairing techniques are also not well established yet. A specification for quality of repair materials should be established, in order to secure the stability and to improve the serviceability of the repaired structures.

In this study, long term properties of repair materials such as thermal expansion coefficient, hardening shrinkage, creep, and chemical resistance have been tested. The material properties shows to be affected many factors such as curing period, temperature, relative humidity, and etc. The repair material should be selected by considering the cause and shape of the defects, mix properties, workability, quality control of construction, and etc.

1. 서론

1.1 연구배경

근래에 들어 콘크리트 구조물의 열화, 내력부족 및 부실시공등의 원인으로 구조체상에 재료적, 구조적 문제가 심각하게 발생되어 보수시공 건수가 나날이 증가되는 추세로서 이의 보수재료로서 고분자 수지 및 복합재료의 사용이 점차 늘어나고 있다. 국내에서도 이미 많은 구조물이 보수보강되었고 또

- 1) * 정희원, 아주대학교 토목공학과 교수
- 2) ** 정희원, 아주대학교 토목공학과 석사과정
- 3) *** 정희원, 강원대학교 농공학과 교수

계속적인 시공계획이 수립되고 있으나 이에 필요한 보수재료중 고분자 수지계통, 특히 에폭시 수지는 규격이 전혀 설정되어 있지 않고 검정기준이 없는 상태에서 제조업체 및 공사 시공업자의 경험에만 의존하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 보수보강의 확실한 안정성확보나 사용성의 향상을 보장하기 위해서는 우선적으로 사용재료에 대한 품질기준이 설정되어야만 한다.

1.2 연구 목적 및 내용

구조물의 보수·보강시 접착제로서 작업의 용이성, 고강도의 접착성, 그리고 다른 재료보다는 낮은 수축을 때문에 널리 쓰이고 있는 에폭시 레진은 현장 조건과 주변환경등 여러 인자들에 의해 재료의 성질이 변화할 수 있다. 본 연구에서는 에폭시의 장기적인 거동에 영향을 줄 수 있는 인자들을 변수로 하여 대상재료의 온도 변화에 따른 열팽창 계수 실험, 일정한 온도와 습도하에서의 크립실험, 경화수축을 실험, 그리고 화학적 내구성실험등을 통하여 에폭시의 장기적인 특성을 규명하고자 하였다.

2. 시험개요

2.1 시험재료

국내에서 사용중인 주입용 에폭시수지로 주재 및 경화제에 대한 배합비(wt.)가 2:1인 두 개회사 (A,B)의 제품을 선정하였다.

2.2 경화수축 시험

본 시험은 ASTM C883(Standard Test Method for Effective Shrinkage of Epoxy-Resin Systems Used with Concrete)와 KS M 3015(열경화성 플라스틱 일반 시험 방법)을 참조하여 시행하였다.

시험편은 회사별로 각각 3개씩 총 6개의 시험편을 제작하였으며, 온도 $23\pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $55\pm 2\%$ 의 항온항습실에서 24시간의 양생을 거친후 시험하였다. 수축율의 측정은 배합후 24시간이후부터 12시간마다 27일동안 측정되었으며 정밀도 $\frac{1}{100} \text{ mm}$ 의 변위 측정기를 사용하였다.

2.3 크립 시험

에폭시의 크립 시험은 KS M 3022(플라스틱의 인장크립 시험 방법)에 준하여 시행하였다. 시험편의 틀은 두께 1cm 의 강판으로 제작되었고, 강판사이 에폭시 접착두께는 0.5cm 로 하였다. 에폭시의 부착면적은 100cm^2 으로 하여 A사와 B사의 시험편을 수직으로 일치시킨 후 시험편의 상단에 5톤용량의 로드셀을 설치하였고, 각각의 시험편의 하단에는 정밀도 $\frac{1}{1000} \text{ mm}$ 의 변위 측정기를 각각 2개씩 총 4개를 설치하여 매 1시간마다 하중과 변형을 측정하였다.

시험체는 온도 $23\pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $55\pm 2\%$ 의 항온항습실에서 7일간 양생하였으며, 하중재하는 A사 시험편의 경우 부착파괴강도의 37%, B사 시험편의 경우에는 30%인 800kg를 재하하였다.

2.4 화학적 내구성 시험

시험은 ASTM D543(Standard Test Method for Resistance of Plastics to Chemical Reagents)을 기준으로 하여 시험하였으며, 24시간의 양생기간을 거친 후 탈형하였다.

침전양생시 염화칼슘의 농도는 30%로 하였으며, 각각의 시험체는 기건양생과 염화칼슘에서의 침전양생으로 양생 조건을 달리하여 항온항습실의 물드에서 24시간동안의 양생 후 탈형하여 7일, 14일, 28일 동안 양생하였다. 소정의 양생기간에 따른 재료의 내구성을 측정하기 위하여 시험편의 인장강도를 실시하였다.

2.5 열팽창 계수 시험

열팽창 계수 시험은 ASTM D696(Standard Test Method for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics)와 D1151(Standard Test Method for Effect of Moisture and Temperature on Adhesive Bonds)에 준하여 시험하였다.

배합은 A사제품 3개와 B사제품 4개 총 7개의 시험편을 제작하였으며, 양생은 항온항습실에서 7일 동안 양생하였고 시험편의 크기는 단면 $2.54\text{cm} \times 2.54\text{cm}$ 의 정사각형이며, 시험편의 길이는 28.575cm 이다.

측정온도의 범위는 저온인 경우는 -9.5°C , 고온의 경우는 37°C 의 온도에서 측정되었다. 측정방법은 온도가 일정하게 유지되는 밀폐된 용기내에서 저온과 고온에서 각각 4시간동안 놓아둔 다음 정확도가 $\frac{1}{100}\text{mm}$ 인 다이얼 게이지가 부착된 길이변화 측정기로 시험편의 변화된 길이를 측정하였다.

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 경화수축

모든 시편이 탈형 후 측정초기인 0~1일부터 1.5~7일까지는 수축량의 급격한 증가를 보이고 있으며 그 이후에는 수축율의 완만한 증가경향을 볼 수 있었다. 본 시험에서의 측정기간 22~28일까지의 최종 평균수축량을 살펴보면 A사제품의 경우 $1020\mu\epsilon$ 이고 B사제품은 $1200\mu\epsilon$ 으로 측정되었다.

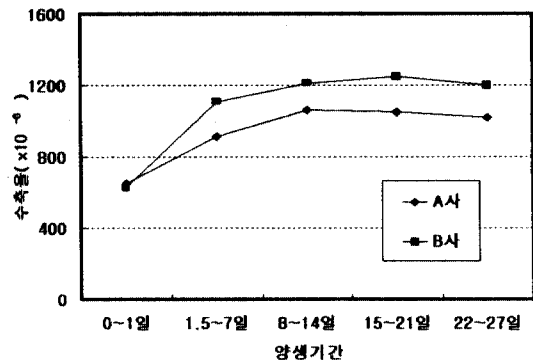


그림 1 양생기간에 따른 평균수축율의 비교곡선

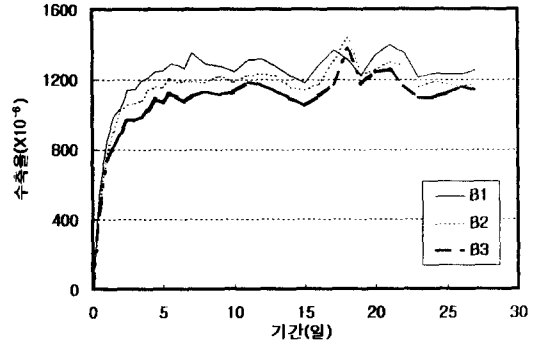
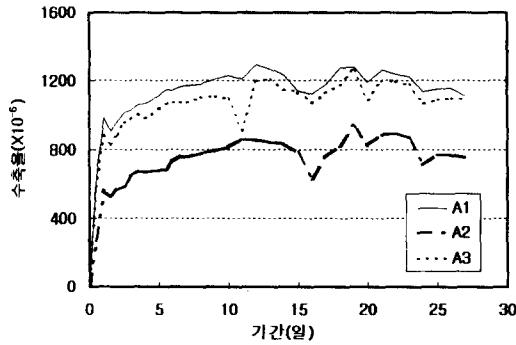
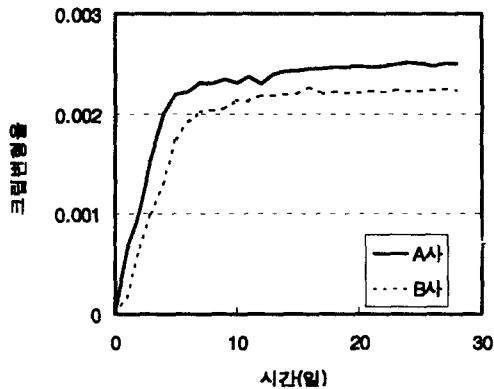


그림 2 양생기간에 의한 수축률의 변화곡선

3.2 크 립

3회의 실험을 시행하였으나, 측정결과가 양호한 1회의 측정치를 부착길이 10cm로 나누어 획득한 자료를 분석하였으며, 그림 3은 측정된 변형율을 도시한 것이다.

표 1 하중재하에 따른 변형률 비교표



하중재하(일)	변형률(A)	변형률(B)
1	0.00066	0.00016
3	0.00156	0.00099
6	0.00222	0.00191
9	0.00234	0.00205
12	0.00230	0.00218
15	0.00242	0.00219
18	0.00247	0.00222
21	0.00247	0.00223
24	0.00251	0.00223
28	0.00250	0.00224

그림 3 재하기간에 따른 크립변형률의 변화

본 시험에서는 재하기간이 짧아 에폭시의 종국크립변형량을 얻기는 불가능하였으나 28일 동안의 재하기간에서 측정된 크립변형율을 분석하면 시험된 두 회사의 제품모두 재하 5일정도까지는 변형율이 거의 선형적으로 증가하는 것을 관측할 수 있었으며 28일째의 크립변형율을 비교하면 A사의 시편이 0.0025 B사의 시편이 0.00224으로 A사 제품이 11.7%큰 것으로 나타났다.

3.3 화학적 내구성

시험체별로 양생조건과 양생기간에 따른 인장강도에서 두 제품 모두 우선 기건양생의 경우 양생기간 7일부터 28일까지 대체적으로 강도가 증가하는 경향을 볼 수 있었으며, 침전양생의 경우에는 14일 강도까지는 증가하지만 28일 강도에서는 약간의 감소를 나타내었다.

표 2 양생기간과 양생조건에 의한 강도변화

시편명	양 생 조 건					
	기 건			침 전		
	양생기간별 측정강도			양생기간별 측정강도		
	7 (기준)	14	28	7 (기준)	14	28
A	349.1	400.7	402.7	301.7	330.1	336.3
	100	114.7	115.3	100	109.4	111.4
B	393.5	409.6	420.3	381.2	402.5	385.1
	100	104.1	106.8	100	105.5	101.0

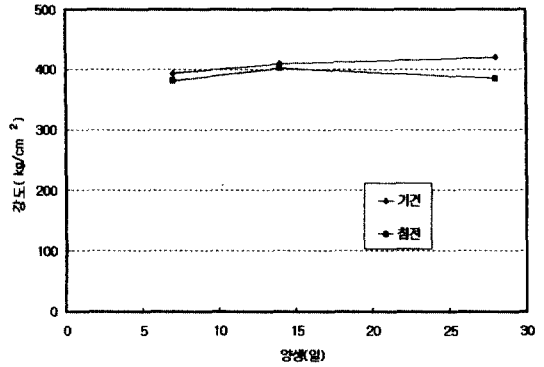
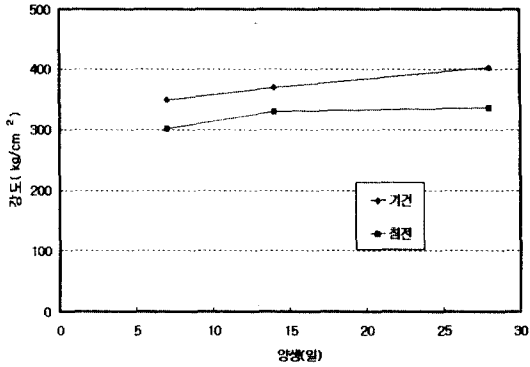


그림 4 양생기간에따른 인장강도 변화곡선

3.4 열팽창계수

시험체를 동일한 조건에서 7일 동안 양생한 후의 열팽창 계수를 길이변화 측정기로 측정된 결과, A사와 B사의 에폭시간의 열팽창 계수치의 차이는 약 3%로 측정되었다.

표 3 열팽창 계수 실험결과(×10⁻⁶/℃)

제품	시편명	저온 구간 (-10~22℃)	고온 구간 (22~37℃)	평균	표준 편차
A	A1	74.02	147.66	82.6180	1.16
	A2	67.71	72.22		
	A3	62.32	121.42		
B	B1	68.14	117.29	80.2383	0.7
	B2	58.88	110.51		
	B3	56.52	160.79		
	B4	55.94	106.16		

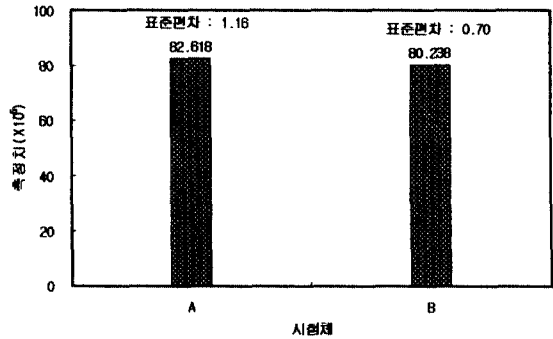


그림 5 측정치 비교그래프

4. 결 론

본 연구에서는 구조물의 보수·보강시 접착제로 사용되고 있는 에폭시의 장기적인 물성을 규명한 것으로 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 경화수축을 비교에서 두 제품모두 측정 초기인 0~1일부터 1.5~7일까지는 급격한 수축율의 증가를 보이고 있으며 그 이후로는 수축율의 완만한 증가경향을 관측할 수 있었다..
- 2) 크립 시험의 경우 크립재하기간이 짧아 종국크립변형율이 얻기는 불가능하였으나 시험기간내에서의 측정된 자료에서 재하 5~6일까지는 변형율이 거의 선형적으로 급격히 증가하는 경향을 볼 수 있다.
- 3) 인장강도 측정을 통해 화학적 내구성을 살펴본 결과 기진, 침전양생 모두 양생기간이 지남에 따라 전반적인 강도의 증가를 보이고 있으며 침전양생조건의 경우가 기진양생시 보다 강도가 감소하는 경향을 보이고 있다.
- 4) 열팽창계수의 시험에서는 두제품이 각각 82.62×10^{-6} 과 80.24×10^{-6} 으로 약 2.4×10^{-6} 정도의 차이를 보이고 있으며 콘크리트의 열팽창계수 11×10^{-6} 과 비교해서는 약 7~8배 더 큰 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. ASTM Vol. 8.02, 8.01, 15.06 1989
2. McDonald and Logsdon D.L., "Bond and Force Transfer of Composite Material Plates Bonded TO Concrete to Concrete" ACI MATERIAL JOURNAL, Title No.92-M2, March-April 1996
3. Lin Tu, Deon Kruger, "Engineering Properties of Epoxy Resins Used as Concrete Adhesives" ACI MATERIAL JOURNAL, Title No.93-M4, p26-35, Jan.-Feb., 1996
4. S.I.Kishkina, "Mechanical Testing of Composite Materials" CAMPMAL AND HALL, Chapter10, pp.571-599
5. Lawrence E. Nielsen, Robert F. Landel, "Mechanical Properties of Polymers and Composites", DEKKER, Vol.10, pp.253-256, 1993
6. Flinn, Trojan, "Engineering Materials and Their Applications", HOUGHTON MIFFLIN, Vol.2, pp213-216
7. Lawrence H. Van Vlack, "Materials for Engineerings", ADDISON WESLEY, Vol.1, pp.213-216
8. 김박윤, "에폭시 수지" 대광서림, pp.259-272, 1994