

## 구조보강용 FRP 함침·접착수지의 사용가능시간 분석

Pot Life of Structural Adhesives for FRP Composite Used in  
Strengthening RC Members

최기선\*

유영찬\*\*

김금환\*\*

Choi, Ki-Sun

You, Young-Chan

Kim, Keung-Hwan

### Abstract

Pot life of two-component adhesives such as epoxy resin used in saturating FRP composite is defined as a certain time periods which can guarantee the bond performance and workability of epoxy resin. Therefore, adhesion procedure in strengthening RC members should be completed before chemical hardening is going on at job site. It has been known that there are two types of test method to evaluate the pot life of structural adhesive based on apparent viscosity or temperature change. This study is to verify the test methods how to assess pot life of structural adhesive for FRP composites by means of changing in apparent viscosity and means of exothermic reaction temperature proposed in existing test standards. Results of each test method were compared and analyzed, and reasonable test and evaluation method were suggested.

### 요 지

FRP 복합체의 함침·접착에 사용되는 에폭시 수지와 같은 2액형 접착제는 두 성분을 상호 혼합함으로써 경화반응이 시작되며, 일정 시간이 경과되면 접착제의 점도와 온도가 급격히 증가된다. 이와 같이 접착제의 점도가 증가되면 작업성과 접착력이 저하되므로, 현장에서의 작업은 시공연도(workability)가 유지되는 한계, 소위 「사용가능시간(pot life)」 이내에 완료되어야만 한다. 본 연구에서는 구조보강용 FRP 복합체의 함침·접착에 사용되는 에폭시 수지의 사용가능시간을 평가하기 위하여 기존에 제안되고 있는 점도변화법 및 발열온도상승법의 적합성을 검증하고, 실험결과의 비교·분석을 통하여 구조용 접착제의 사용가능시간을 보다 합리적으로 산정할 수 있는 시험방법 및 평가기준을 제안하였다.

**Keywords** : Adhesive, Epoxy resin, FRP composite, Pot life, Saturating

**핵심 용어** : 접착제, 에폭시 수지, FRP 복합체, 사용가능시간, 함침제

\* 정회원, 한국건설기술연구원 건축구조·재료연구실 연구원

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 건축구조·재료연구실 책임연구원

E-mail : ck-suny@kict.re.kr 031-910-0716

•본 논문에 대한 토의를 2008년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2008년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

FRP 복합체에 사용되는 상온결합형 2액형 함침·접착수지는 주재와 경화제의 화학적 반응에 의해 경화가 시작되며, 화학반응이 본격적으로 진행되면 급격한 점도 증가로 시공성이 저하되고, 부착 및 접착력이 현저히 감소된다. 따라서 함침·접착수지의 품질성능을 확보하기 위해서는 초기경화가 진행되는 시간에 대한 명확한 규명이 요구된다. 이러한 이유로 하여 에폭시 수지의 물리적 특성에는 ‘사용가능시간(pot life, working life)’에 대한 권고사항이 제안되고 있으나, 함침/접착수지의 사용가능시간을 평가하기 위한 국내·외 시험방법이 매우 제한적이며 그 적합성도 검증되지 않은 실정이다.

본 연구에서는 구조보강용 FRP 복합체의 함침·접착수지로 사용되는 에폭시 수지의 사용가능시간을 실험적으로 파악하기 위하여 기존의 시험규격에서 제안하는 방법에 따라 대표적인 수지를 대상으로 실험을 실시하고, 실험결과에 대한 비교·분석을 통하여 기존 시험방법의 적합성을 분석함과 동시에 사용가능시간 분석을 위한 합리적인 시험방법 및 평가기준에 대한 개선방향을 모색하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시험방법 검토

함침·접착제의 사용가능시간의 측정을 위한 시험법으로서 현재까지 국가규격으로 제정된 것은 아직 없는 것으로 파악되고 있으며, 그중에서 유럽 시험규격(이하 EN ; European Norm)에서 규격제정을 위해 검토가 이루어지고 있는 실정이다. 본 시험방법 검토(안)에서 설명하고 있는 측정원리 및 시험방법 중에서 대표적인 방법을 정리하면 다음과 같다.

#### 2.1.1 발열온도상승법(EN 2561)

발열온도상승법에서 사용가능시간(pot life)은 다중 성분 접착제를 균일하게 혼합한 다음, 혼합물이 특정 온도(또는 최대온도)에 이르렀을 때의 혼합으로부터

소요시간으로 유추하여 결정된다. 혼합 후의 최대온도가 특정온도 이하의 발열온도를 나타내는 제품의 경우는 최대온도에 도달하였을 때의 온도로 정의한다.

#### 2.1.2 점도 변화법(EN 2561)

점도 변화법에서는 다중성분 접착제를 혼합하고 특정값에서 점성이 변하는 데 걸리는 시간을 측정하여 사용가능시간(pot life)으로 정의한다. 본 방법은 사용가능시간이 5분보다 짧은 경우에는 적당하지 않다.

#### 2.1.3 시험방법의 주요내용 비교

접착제의 사용가능시간에 대한 시험방법은 현재 EN<sup>(7)</sup>과 일본 수도고속도로공단<sup>(5)</sup>에서 각각 제시하고 있는 것으로 파악되고 있다. 즉, 일본 수도고속도로공단에서는 발열온도상승법에 의한 사용가능시간 측정법을 제시하고 있으며, EN의 시험규격에서는 점도변화법, 온도변화 등의 총 5가지의 측정법을 제시하고 있다. 각 시험규격의 세부 시험방법 및 판정기준을 비교하여 나타내면 Table 1과 같다.

본 연구에서는 여러 가지 시험법 중에서 측정이 용이할 것으로 생각되는 점도변화법과 발열온도상승법을 대상으로 검토하였다. 점도변화법에서는 다중 성분 접착수지의 초기점도가 특정값 이상으로 점성이 변하는 데 걸리는 시간을 측정하여 사용가능시간을 정의한다. 발열온도상승법은 최고온도 도달시간을 기준으로 일정시간을 감소시켜 사용가능시간을 지정하는 방법과 특정온도에 도달하는 시간으로 정의하는 방법이 제시되고 있다.

Table 1 접착수지 사용가능시간 관련 시험규격

	EN		일본수도고속도로공단
	점도 변화법	발열온도 상승법	발열온도상승법
혼합량	200g	10분 이내 20g	10분 이상 100g
측정 항목	점도	온도	온도
판정	초기 점도가 2배되는 시간	· 40℃에 도달한 시간	· 최고온도시간 60~70% (최고점 명확시) · 최고온도시간 50%(최고점 불명확시)

## 2.2 실험방법 및 내용

### 2.2.1 사용 재료

구조보강용 FRP 복합체에 사용되는 에폭시 수지는 현장 함침형으로 시공되는 저점도 수지와 현장 접착용으로 사용되는 고점도 수지로 구분할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 국내에서 대표적으로 사용되고 있는 탄소섬유쉬트용 함침·접착 수지(저점도 수지)와 탄소섬유판용 접착용 수지(고점도 수지)를 각각 선정하여 에폭시 수지의 사용가능시간 측정을 위한 실험재료로 선정하였다. 에폭시 수지의 물성치를 정리하여 나타내면 Table 2와 같다.

### 2.2.2 실험 변수

합리적인 사용가능시간 측정방법을 검토하기 위하여 본 연구에서는 발열온도상승법과 점도변화법을 대상으로 탄소섬유쉬트의 함침·접착용 에폭시 수지와 탄소섬

Table 2 에폭시 수지의 물성

구분	압축강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	인장전단부착 강도 (MPa)	비고
저점도 수지	64.7	32.0	11.0	탄소섬유 쉬트 함침용
고점도 수지	110	33.5	4.3	탄소섬유판 접착용

Table 3 사용가능시간 실험변수(발열온도상승법)

시료	대기 온도	초기 수지온도	배합량(g)	배합비율 (주제:경화제)
탄소섬유쉬트용 함침수지	24.9	18.6	100, 200, 300	2 : 1
탄소섬유판용 접착수지	24.9	22.5	100, 200, 300	3 : 1

Table 4 사용가능시간 실험변수(점도변화법)

시료	대기 온도 (°C)	초기 수지온도 (°C)	배합량 (g)	배합비율 (주제:경화제)
탄소섬유쉬트용 함침수지	20.8	22.8	400	2 : 1
탄소섬유판용 접착수지	20.8	24.5	600	3 : 1



Photo 1 발열온도상승법 실험



Photo 2 점도변화법 실험광경

유판의 접착용 에폭시 수지를 각각 실험하였다. 발열 온도상승법에서는 Table 3에서 보는 바와 같이 배합량 100, 200, 300g의 3종류에 대하여 배합량 및 각 규준에서 제시하는 판정기준에 따른 사용가능시간의 차이를 평가하였다. 점도변화법에서는 브룩필드 RVDV-II+형의 회전점도계를 이용하여 점도를 측정하였으며 스펀들의 회전판이 샘플내에 완전히 침식될 수 있도록 각각의 비중을 고려하여 에폭시 수지 양을 결정하였다. 이와 같이 결정된 탄소섬유쉬트 함침·접착용 에폭시 수지 및 탄소섬유판 접착용 에폭시 수지의 배합량은 각각 400g 및 600g 이다.

### 2.2.3 측정 및 판정기준

#### (가) 발열온도상승법

발열온도상승법에서는 수지가 화학적 반응에 의해

경화되면서 발생하는 온도를 측정하고, 이러한 온도변화에 따라 수지의 사용가능시간을 유추한다. EN 규격에서는 수지의 온도가 40°C에 도달할 때까지의 시간을 사용가능시간으로 판정하며, 일본 수도고속도로공단에서는 최고온도점이 명료하게 존재하는 경우 최고온도의 60%를 사용가능시간으로 판정하고, 최고온도점이 불명확하면 최고온도의 50%를 사용가능시간으로 판정한다.

### (나) 점도변화법

EN에서 규정하고 있는 점도변화법은 2액형 접착제를 혼합하고 초기점도의 두 배로 점성이 변하는 데 걸리는 시간을 측정하여 사용가능시간으로 정의한다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 점도변화법

#### 3.1.1 저점도 수지 (탄소섬유쉬트 함침용 수지)

탄소섬유쉬트 함침용 수지를 주체와 경화제를 혼합하고 시간 경과에 따른 점도변화를 측정해 본 결과, 배합의 초기에는 온도가 증가됨에 따라서 점도는 서서히 저하되지만, 일정시간이 경과하여 경화가 촉진되는 시점에서는 폭발적인 발열반응에 의해서 온도 및 점도가 급격히 상승하는 것으로 나타났다. EN 규격에서 지정한 점도변화법에 의해 초기 점도의 2배가 되는 점도를 측정할 결과, Fig. 1에서 보는 바와 같이 탄소섬유쉬트 함침·접착용 수지의 사용가능시간은 67분으로 나타났다. 특히 탄소섬유쉬트 함침용 수지는 점도가 2배로 증가되는 시점에서 점도를 측정하기 어려울 정도로 화학반응이 급격히 진행되는 것으로 파악되었다. 따라서 이 점을 기준으로 하여 사용가능시간의 한계를 결정하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

#### 3.1.2 고점도 수지 (탄소섬유판 접착용 수지)

탄소섬유판 접착용 고점도 수지는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 주체와 경화제를 배합한 후, 온도가 서서히 상승함에 따라 초기점도는 감소되지만, 점도측정 후 약 30분이 경과되면서 서서히 점도가 증가되기 시작

하여 60분 이후에는 급격히 점도가 증가되는 것으로 나타났다. 즉, 탄소섬유쉬트 함침·접착용 수지에 비하여 경화반응이 완만히 진행되는 특성이 있는 것으로 파악되었다. EN에서 규정한 사용가능시간인 초기 점도의 2배가 되는 시점은 67.5분으로 측정되었다.

Table 5 블록필드 회전점도계에 의한 겔보기 점도

수지	배합량 (g)	스핀들	RPM	Torque (%)	초기 점도 (cps)	도달 시간 (min.)
탄소섬유쉬트용 함침수지	400	4	7.5	43.2	11,520	67.0
탄소섬유판용 접착수지	600	7	6.0	36.8	245,000	67.5

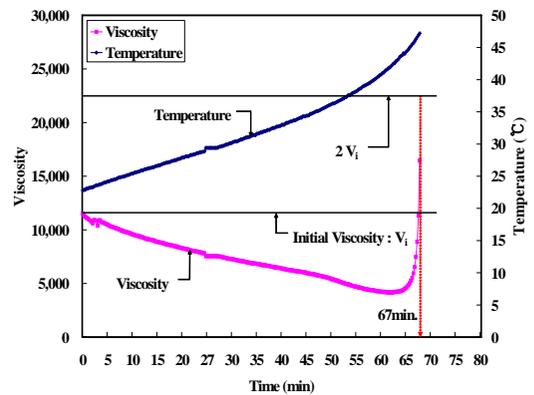


Fig. 1 탄소섬유쉬트 함침용 수지의 점도변화

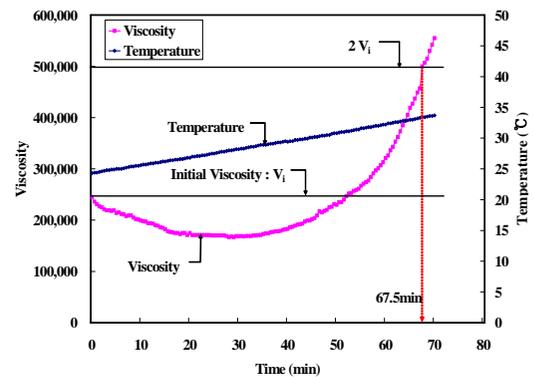


Fig. 2 탄소섬유판 접착용 수지의 점도변화

### 3.1.3 실험 후기

점도변화에 의한 사용가능시간 측정방법을 실제 에폭시 수지에 적용해 본 경험에 의하면, 점도계의 스핀들이 회전함에 따라서 스핀들 주변에서는 에폭시 수지의 경화가 지연되는 것으로 관측되었다. 그로 인하여 스핀들에 의해서 초기점도의 2배에 도달하기 전에 스핀들을 외곽 및 하부의 수지는 Photo 3에서 보는 바와 같이 이미 경화가 상당히 진행된 상태인 것으로 파악되었다. 즉, 점도변화법에서 측정되는 사용가능시간은 스핀들의 회전반경 이내에서 측정되는 것이기 때문에 현장배합 시의 정적인 상태를 기준으로 평가할 경우의 사용가능시간은 초기점도의 2배가 되는 시점보다 짧아져야 할 것이다. 따라서, 점도변화법에서 측정된 사용가능시간을 정적인 상태로 환산하여 감소시킬 수 있는 감소계수의 도입이 필요하다고 판단된다.

## 3.2 발열온도상승법

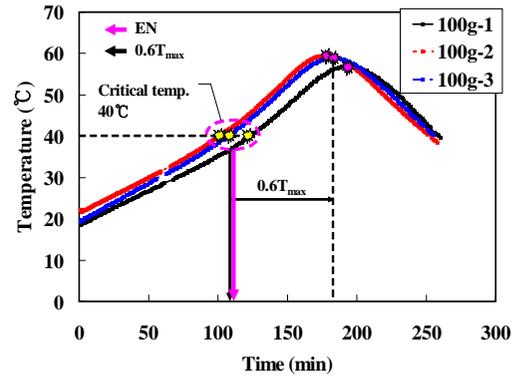
### 3.2.1 저점도 수지 (탄소섬유쉬트 함침용 수지)

탄소섬유쉬트 함침·접착용 에폭시 수지의 발열온도 측정결과를 나타내면 Fig. 3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 탄소섬유쉬트 함침·접착용 에폭시 수지는 배합량의 증가에 따라서 발열온도가 상승하며, 최고온도 도달시간은 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 함침용 에폭시의 혼합량이 200g 이상일 경우, 시간에 따른 발열온도 곡선에서 최고온도 지점이 명확한 것으로

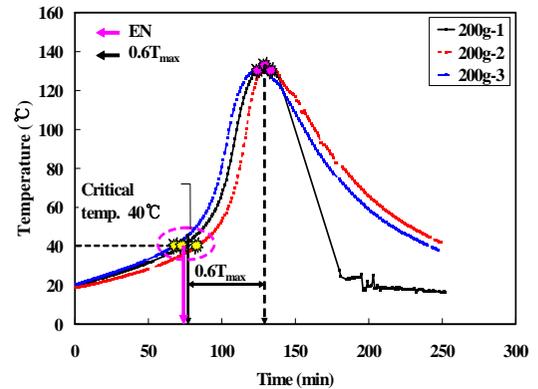


Photo 3 스핀들 하부의 에폭시 수지 경화

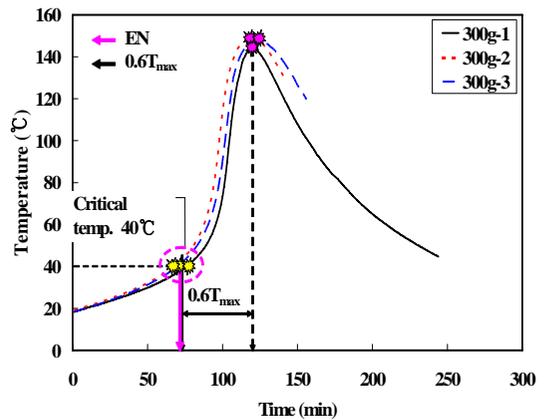
나타났다. 이와 같은 실험결과를 바탕으로 일본 수도고속도로공단의 판정방법 및 EN의 평가방법을 각각 적용하여 나타나면 Table 6과 같다. 표에서 보는 바



(a) 100g



(b) 200 g



(c) 300 g

Fig. 3 탄소섬유쉬트 함침수지의 발열온도 상승곡선

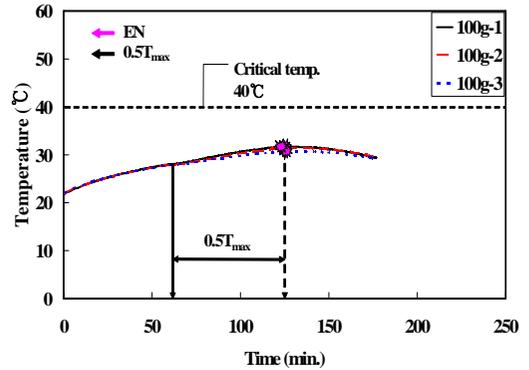
와 같이 일본 수도고속도로공단의 평가방법에 따른 사용가능시간은 100g의 혼합량일 경우 약 110분 내외, 그 이상의 혼합량의 경우에는 약 70분 내외의 값을 나타내는 것으로 파악되었다. 이러한 측정값은 40℃에 도달하는 시간을 기준으로 평가하는 EN규정에 의하여 얻어진 사용가능시간과 상호 유사한 것으로 상당히 신뢰성이 높은 것으로 판단된다.

### 3.2.2 고점도 수지(탄소섬유관 접착용 수지)

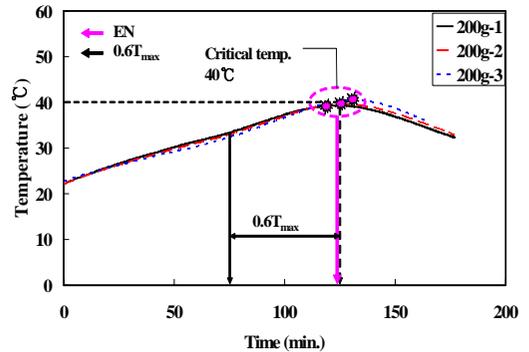
탄소섬유관 접착용 에폭시 수지의 발열온도 측정결과를 나타내면 Fig. 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 탄소섬유관 접착용 에폭시 수지는 시간의 경과에 따른 발열온도 변화가 완만한 곡선을 이루며, 최고온도가 명확하게 나타나지 않았다. 특히, 배합량의 증가에 따라서 최고온도가 증가하지만 그 차이는 저점도 수지에 비하여 크지 않은 것으로 나타났으며, 200g 이하로 배합된 경우는 최고온도가 EN규격에서 정의하고 있는 40℃ 보다 낮은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 점도변화법에서도 동일하게 관측된 것으로 수지의 특성에 기인하는 것이라 판단된다. 본 그림에서 최고온도가 명확히 나타나지 않는 100g에서는 사용가능시간을 평가하는 일본 수도고속도로공단의 판정기준에 따라  $0.5T_{max}$ 로 평가하였다.

이와 같은 실험결과를 바탕으로 일본 수도고속도로공단의 판정방법 및 EN의 평가방법을 각각 비교하여 나타내면 Table 7과 같다. 표에서 보는 바와 같이 일본 수도고속도로공단의 평가방법에 따른 사용가능시간은 배합량에 관계없이 약 75분 내외인 것으로 나타났

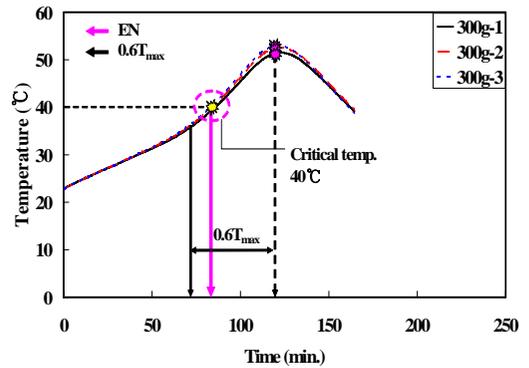
다. 그러나, EN규정에 의한 사용가능시간은 배합량에 따라서 크게 변화되는 것으로 나타났으며, 특히 기준 배합량인 100g의 경우에는 측정이 불가능한 것으로 조사되었다. 이는 고점도 수지의 발열온도 특성이 최



(a) 100g



(b) 200g



(c) 300g

Fig. 4 탄소섬유관 접착수지의 발열온도 상승곡선

Table 6 탄소섬유슈트 합침용 수지의 사용가능시간

항목		100g			200g			300g		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
일본 수도 고속 도로 공단	최고온도 (°C)	56.9	59.4	58.9	133.4	131.2	130.7	143.9	149.5	148.1
	최고온도 도달시간 $T_1$ (min.)	193	177	182	129	132	124	120	120	123
	$T_2=0.6T_1$ (min.)	116	106	109	77	79	75	72	72	74
	EN 40℃ 도달시간	123	102	107	73	83	67	76	68	70

Table 7 탄소섬유판 접착용 레진의 사용가능시간

항목	100g			200g			300g			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
일본 수도 고속도로 공단	최고온도 (°C)	31.7	31.4	30.7	39.3	39.7	40.6	51.5	52.6	53.0
	최고온도 도달시간 T <sub>1</sub> (min.)	124	125	126	118	125	129	120	120	120
	T <sub>2</sub> =0.5T <sub>1</sub> (min.)	62	63	63	59	63	65	60	60	60
	T <sub>2</sub> =0.6T <sub>1</sub> (min.)	74	75	77	71	75	77	72	72	72
EN	40°C 도달시간	-	-	-	-	-	121	86	84	83

고온도가 명확하지 않고, 또한 전반적으로 낮은 것에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 탄소섬유판 접착용 수지와 같은 고점도 수지의 경우에는 EN 규정에 의한 판정방법의 신뢰성이 낮을 것으로 판단된다.

### 3.3 실험방법별 결과 비교

#### 3.3.1 실험방법 비교·분석

점도변화법은 수지의 workability를 직접적으로 측정하여 평가하는 방법으로서, EN규격에서 규정하는 바와 같이 혼합액의 점도가 초기점도의 2배로 증가되는 시점은 수지의 화학반응이 급격히 증가되는 점과 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 이 점을 기준으로 사용가능시간의 한계를 결정하는 것이 합리적일 것으로 판단된다. 그러나 브룩필드형 회전점도계를 이용하여 지속적으로 점도변화를 측정하는 방법은 스펀들의 망실을 초래할 뿐만 아니라 측정기기에도 과부하가 걸리는 등 실용성 측면에서는 문제가 있는 것으로 파악되었다.

이에 대하여 발열온도상승법은 동시 다점 측정이 가능하고 적용이 간편한 장점 등으로 인하여 실용성이 우수한 것으로 평가되지만, 혼합액의 양(부피)에 따라 발열특성이 변화하며 또한 화학반응으로 인한 최고온도 발열특성이 명확하지 않을 경우에는 적용이 불가능한 것으로 조사되었다. 따라서 점도변화법에 의해 예측되는 사용가능시간 예측 기준점을 간접적으로 평가할 수 있는 발열온도상승법의 시험규격 및 평가기준을

Table 8 구조보강용 FRP 복합체 합침·접착용 수지의 사용가능시간 평가

항목	탄소섬유쉬트 합침용				탄소섬유판 접착용 수지				
	100g	200g	300g	600g	100g	200g	300g	600g	
발열 온도 상승법	최고온도 도달시간 T <sub>1</sub> (min.)	184	128	121	-	125	124	120	-
	T <sub>2</sub> =0.4T <sub>1</sub> (min.)	74	51	48	-	50	50	48	-
	T <sub>2</sub> =0.5T <sub>1</sub> (min.)	92	64	60.5	-	63	63	60	-
	T <sub>2</sub> =0.6T <sub>1</sub> (min.)	110	77	73	-	75	74	72	-
점도 변화법	점도가 2배되는 시간	-			67.0	-			67.5

설정하면 실용성 및 적합성이 우수한 실험방법을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 3.3.2 실험결과 비교·분석

점도변화법에 의한 실험결과와 발열온도상승법에 의한 실험결과를 상호 비교하여 나타내면 Table 8과 같다. 표에서 발열온도상승법은 일본 수도고속도로공단의 판정기준에 의한 결과가 EN규정에 의한 실험결과를 포괄하는 것으로 나타났으므로, 일본 수도고속도로공단에 의한 판정결과만을 나타내었다.

표에서 보는 바와 같이 발열온도상승법에 의한 판정기준에서 점도변화법과 발열온도상승법의 결과가 상호 유사하게 나타나는 판정기준은 수지의 종류 및 발열온도 특성에 관계없이 최고온도의 약 50~60% 정도인 것으로 나타났다. 그러나, 점도변화법에서도 어느 정도의 안전율이 필요하므로, 발열온도상승법에서 최고온도의 약 50%를 기준으로 사용가능시간을 결정하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

FRP 보강제의 합침 및 접착제로 사용되는 2액형 에폭시 수지의 합리적인 사용가능시간을 평가하고, 적합한 시험방법 및 평가방법을 도출하기 위한 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) EN의 규격에서 규정된 바와 같이, 점도변화법에 의해 초기 점도의 2배가 되는 점도를 측정할 결과, 탄소섬유쉬트와 탄소섬유판용 에폭시 수지 모두 사용가능시간은 67분으로 나타났다. 점도변화법은 수지의 물성변화를 직접적으로 측정하는 실험방법으로서 실효성 측면에서 우수할 것으로 예상되나 실험방법이 복잡하고 스핀들의 망실이 발생되므로 실험결과에 대한 기준치로만 고려할 필요가 있다고 판단된다.
- 2) 점도변화법에서는 점도계의 스핀들이 회전함에 따라서 스핀들 주변에서의 에폭시 수지의 경화가 지연되므로 현장배합 시 사용가능시간은 초기점도의 2배가 되는 시점보다 짧아져야 할 것으로 판단된다. 따라서 점도변화법에서 측정된 사용가능시간을 감소를 고려할 수 있는 감소계수의 도입이 필요하다고 판단된다.
- 3) 발열온도상승법에 의한 시험방법 중에서 40℃ 도달시간을 기준으로 사용가능시간을 판정하는 방법(EN 규정)은 배합량에 따라 결과 값이 변하며, 고점도의 에폭시 경우에는 적용이 불가능한 것으로 나타났다. 이에 대하여 최고온도 도달시간을 기준으로 평가하는 방법(일본 수도고속도로공단 제안법)은 수지의 종류 및 발열특성에 관계없이 적용이 가능하며 EN에 의한 평가결과를 포함하는 것으로 나타나 신뢰성이 높은 것으로 판단된다. 따라서, 최고온도 도달시간을 기준으로 에폭시 수지의 사용가능시간을 평가하는 것이 합리적인 것으로 사료된다.
- 4) 점도변화법과 발열온도상승법에 의한 사용가능시간 결과가 상호 유사하게 나타나는 평가기준은 수지의 종류 및 발열온도 특성에 관계없이 최고온도의 약 50~60%에 도달하는 시간인 것으로 나타났다. 한편, 점도변화법에서 측정된 실험결과에도 어느

정도의 안전율이 필요한 것으로 파악되었으므로 발열온도상승법에서 최고온도에 도달하는 시간의 약 50%를 기준으로 사용가능시간을 결정하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출원하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2004 건설기술기반기구축사업 R&D/2004 기반기구축 A13 “시설물 보강공법 성능인증을 위한 시험항목·방법 및 평가기준 설정연구”의 일부로서, 관계제위께 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. 유영찬 외, “시설물 보강공법 성능인증을 위한 시험항목·방법 및 평가기준 설정 연구”, 건설교통부/한국건설교통기술평가원, 2006.
2. 유영찬 외, “건축구조물 보수·보강 공법의 성능평가에 관한 연구”, 한국건설기술연구원/건설교통부, 2001.
3. 유영찬, 최기선, 김공환, “구조보강용 FRP 합침·접착수지의 사용가능시간 시험방법 비교 연구”, 한국콘크리트학회보 학술발표대회논문집, 제25권 1호, 2006, pp. 297-300.
4. 일본도목학회, “連續纖維シシートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針”, 2001.
5. 首都高速道路公團, “補修用エポキシ樹脂施工基準”, 1982, pp. 65.
6. ACI 440. 2R-02 “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures”, ACI Committee 440.
7. EN 14022 “Structural adhesives-Determination of the pot life(working life) of multi-component adhesives”

(접수일자 : 2007년 4월 7일)