

## 콘크리트 구조물 보수용 폴리머계 보수재료의 사용과 선정방법

Selection and Use of Polymer-Based Materials in the Repair of Concrete Structures



도정윤\*  
Jeong-Yun Do

이 기사는 ASCE의 Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol.19, No.3, August 2005에 게재된 논문을 번역한 것이다.

### 1. 서론

열화 또는 성능 저하된 콘크리트를 보수하는 경우에 새로운 재료를 사용해야 하는지 아니면 기존의 보수재료를 사용해야 하는지, 또는 근래에 빈번하게 시행되고 있는 다양한 종류의 폴리머 재료를 혼합한 제품을 사용하는지를 선택해야 한다.

폴리머 재료는 습윤 상태에서의 특성과 표면 침투저항성, 그리고 강도와 투기성과 같은 경화체의 특성 등을 고려하여 특정 적용 부위로부터 요구되는 성능에 대하여 맞춤형 특성을 제공할 수 있도록 배합 조성될 수 있다. 하지만 현실적으로 공학 설계자들은 완전히 경화된 재료의 휨강도, 탄성계수, 건조수축과 크리프 등 재료의 물리적 성능에 더 많은 관심이 있는 것으로 보인다. 또한 설계자들은 그러한 공학적 특성들의 시간 의존적 변화량과 온습도에 대하여 얼마나 많은 특성들이 영향을 받는지를 알고 싶어 한다.

반면 생산품 제조자들은 그러한 사항에 대하여 정리된 정보를 가지고 있지 못하다. 따라서 본지에서는 실제 사용조건에서의 호환성과 적용/시공 상에서의 적합성을 기본으로 하여 폴리머 재료들을 선택하는 데 있어서 중요하게 고려하여야 할 정보들이 제시될 것이다. 또한 근래에 사용되고 있는 재료들의 전형적인 특징이 상세하게 설명되어질 것이며 주어진 환경 조건에서 사용되어질 때 각각 재료들의 사용상 장점과 한계들이 기술될 것이다.

### 2. 재료의 선택에 대한 상세 설명

\*정회원, 전북대학교 공업기술연구원 연구원, 공학박사  
arkido@cricmail.net

보수 재료를 선택하는 과정은 미래의 성능 또는 내구성을 극대화하기 위하여 이를 예측하여 행하는 노력이다. 그러므로 재료를 선택할 때는 반드시 물리·화학적 특성과 설계자가 의도하는 재료의 기능 그리고 재료들이 적용될 환경의 특징과 그 영향에 대한 전문적인 지식을 기반으로 하여 행해 져야 한다. 즉 대부분 보수 작업은 사례별로 매우 다양한 환경과 적용 조건을 보이며 조건에 부합되는 특별한 요구사항들을 필요로 한다.

일단 이러한 다양한 기준 중에서 선택 기준들이 정해지면 종종 같은 적용 결과를 낳는 하나 이상의 여러 재료들의 사용이 가능하다는 사실을 파악할 수 있을 것이다. 따라서 어떤 특정 재료를 선택하거나 혹은 재료의 조합체들을 최종적으로 선택하기 위해서는 반드시 적용성, 경제성, 가용 인력 및 숙련도, 그리고 장비들을 필수적으로 고려해야 한다<sup>8)</sup>.

#### 2.1 선택기준

결합 기지가 폴리머 수지인 폴리머계 재료나 혹은 기지가 라텍스와 시멘트계 재료로 구성된 폴리머 개질 보수재료의 경우 콘크리트, 벽돌 그리고 철골과 같은 전통적인 건설재료들과 비교하여 볼 때 성능을 판단할 수 있는 기준이 그다지 명확하게 정립되어 있지 않다. 그러므로 일반 엔지니어들이 재료를 선택하기 위해 필요한 안내서가 부족하다고 볼 수 있다. 보수를 목적으로 폴리머계 재료를 선택하기 하는 경우 아래와 같은 중요한 사항들이 평가되어야 한다.

- (1) 폴리머계 재료의 물리적 성질은 전통적인 건설재료와는 완전히 다르다.
- (2) 일반적으로 사용조건은 폴리머 자체가 아니라 폴리머계 재료와 피착체로 구성된 복합체에 영향을 미친다.
- (3) 화학적 물리적 특성면에서 볼 때 유기계의 폴리머는 대단히 다양한 종류가 존재하며 더욱이 유기계와 무기계 재료의 조합체들은 훨씬 더 많은 종류가 존재한다.

표 1. 유기계 폴리머 그라우트재의 전형적인 특성

Property/test method	Epoxy grouts	Polyester vinyl esters
Tensile strength <i>ASTM 37-61</i> (modified)	1,000-3,000 psi (10-20 Mpa)	2,400 psi (16.5 Mpa)
Compressive strength <i>ASTM C579-73</i> , Method B	10,000-15,000 psi (69-1031 Mpa)	14,000 psi (96.6 Mpa)
Flexural strength <i>ASTM C550</i>	3,000-5,000 psi (21-34 Mpa)	4,250 psi (29 Mpa)
Flexural modulus of elasticity	12-20 Mpa	12.4 Mpa
Bond strength to steel	1,500-3,000 psi (10-20 Mpa)	2,400 psi (16.5 Mpa)
Density or specific gravity	125-140 lbs/ft <sup>3</sup> (2-2.4 g/cm <sup>3</sup> )	212 lbs/ft <sup>3</sup> (3.4 g/cm <sup>3</sup> )
Linear unrestrained shrinkage <i>ASTM D.2566</i>	0.001-0.002 in./in. 0.001-0.002 cm/cm	0.04 in./in. 0.04 cm/cm
Coefficient of thermal expansion <i>ASTM C-531-68</i>	15-30 × 10 <sup>-6</sup> (in./in./°F) 27-54 × 10 <sup>-6</sup> (cm/cm/°C)	15.3 × 10 <sup>-6</sup> (in./in./°F) 27.5 × 10 <sup>-6</sup> (cm/cm/°C)
Bond to concrete	Stronger than concrete	Stronger than concrete
Impact strength	Better than concrete	Better than concrete
Abrasion resistance	Better than concrete	Better than concrete
Cure time to reach 10,000 psi/69 Mpa		
Compressive strength:		
90°F/32.2°C	18 h	16 h
70°F/21.00°C	42 h	24 h
50°F/10.00°C	28 days	38 h

- (4) 폴리머의 특성은 비교적 적은 온도 변화에도 민감한 반응을 보이며 시간 의존적 특성을 보인다.
- (5) 실제 시공 타설 등 적용하는 동안의 대기온도는 폴리머계 재료의 최종 성능에 주된 영향을 미친다.
- (6) 어떤 적용분야에서는 피착체의 거동, 특히 하중에 대한 피착체 응답 특성은 폴리머의 거동에 지대한 영향을 미친다.

## 2.2 재료 특성

충분한 내구성을 확보할 수 있는 보수작업의 품질은 오로지 구체 콘크리트와 보수 재료와의 상호 특성과 작용을 고려하여 서로 조화롭게 작용하도록 계획함으로써 실현될 수 있다. 특히 치수안정성, 열팽창계수, 탄성계수, 투기성, 화학적 호환성, 전기적 특성 등과 같은 특성들은 재료를 선택할 때 상호간 호환성을 충분히 확보하기 위해서 반드시 고려되어야 할 것이다<sup>1,5,10)</sup>.

### 2.2.1 치수 안정성

폴리머계 보수재료의 예를 들자면 보수재와 콘크리트 피착체 간 양질의 접착 성능을 확보하는 일은 일체화된 품질을 얻기 위해서는 매우 중요한 요구사항이다. 대부분의 보수 작업은 건조수축을 무시할 수 있을 정도로 경미한 오래된 콘크리트에 사용되어지므로 보수재료는 건조수축이 매우 낮거나 그렇지 않으면 두 부재 사이의 접착강도 손실이 발생하지 않는 한도 내에

서 재료의 수축이 허용될 것이다.

### 2.2.2 열팽창계수

보수 부위가 넓거나 두꺼울 때 또는 오버레이를 설치하는 경우, 보수재료의 열팽창계수는 구체 콘크리트와 가능한 비슷한 보수재료를 선택하는 것이 중요하다. 두 재료의 열팽창계수가 매우 상이할 경우, 온도의 변화가 현저하게 일어날 때 체적변화가 일어날 수 있으며, 종종 이러한 현상은 접착 계면이나 강도가 낮은 재료의 단면에서 파괴가 일어난다<sup>14)</sup>. 이렇게 열팽창계수가 상이한 경우에 발생하는 파괴 양상은 보수가 이루어진 냉장 보관실의 바닥에서 목격할 수 있다. 보통, 열화가 일어난 냉장 보관실 바닥은 에폭시 수지를 이용하여 톱코팅의 형식으로 보수가 이루어지는 데, 에폭시 수지의 열팽창계수는 피착체인 구체 콘크리트에 비해 약 5배나 높다.

따라서 에폭시 수지가 내외부의 변화요인에 의해 발생하는 인장 응력을 수지 자체의 신장력으로 경감시키지 못한다면 온도가 낮아짐에 따라 접착 계면의 바로 밑 영역에서 전단파괴의 형태로 바닥재의 층분리가 일어날 것이다<sup>5,9)</sup>(표 1).

### 2.2.3 탄성계수

폴리머계 보수재료처럼 탄성계수가 낮은 재료들은 탄성계수가 높은 재료에 비해 낮은 하중에서 변형이 일어난다. 탄성계수가 서로 다른 재료들이 접해 있으면 재하 상태에서 변형량의 차이라는 심각한 문제가 야기된다. 예를 들면 <그림 1 (a)>은

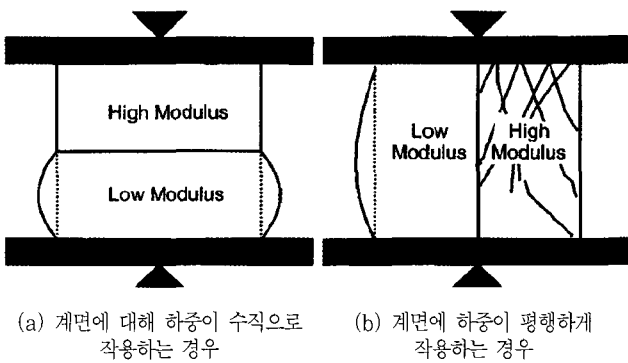


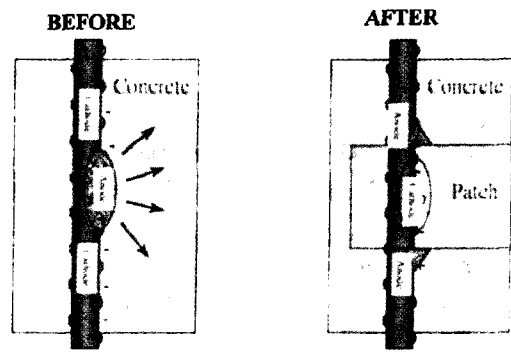
그림 1. 탄성계수가 상이한 두 재료의 거동

접착면에 수직으로 하중이 가해지고 있는데 이 경우에는 탄성 계수의 차이로 인한 문제는 야기되지 않는다는 것을 보여주고 있다. 반면에 <그림 1 (b)>는 하중이 접착면에 평행하게 작용할 때 탄성계수가 낮은 재료가 변형을 함으로써 전체 하중의 양을 탄성계수가 높은 재료 쪽으로 전가하는 효과를 내며 이로 인하여 탄성계수가 높은 재료가 파괴될 가능성이 있다는 점을 설명하고 있다. 이러한 종류의 문제들은 보수재의 가장자리 부분에서 발생할 가능성이 높으며, 특히 충격하중이나 진동 등과 같은 동적 하중이 존재할 때 일어날 가능성이 높다. 이러한 현상을 명확하게 관찰할 수 있는 곳으로는 화물이 싣고 부러지는 선착장에서 행해진 보수 부위의 파괴를 들 수 있다. 즉 박리 현상이 발생한 50×254 mm 크기의 부위를 203.2×304.8 mm 크기 에폭시 모르타르 보수재를 이용하여 시공 한 사례가 있었는데, 이러한 조치는 에폭시 모르타르가 기존의 콘크리트와 우수한 부착성을 발휘하고, 화물선에서 무거운 짐이 부러질 때 부과되는 충격하중을 매우 유효하게 흡수할 수 있다는 점에서 합리적인 대안으로 볼 수 있다. 하지만, 짐이 부러질 때 부과되는 충격하중이 <그림 1 (b)>에서 보는 바와 같이 콘크리트 피착체에 전달되어 1년 사이에 구체 콘크리트의 787.4 mm에 달하는 깊이까지 이르는 심각한 박리가 발생하였다.

탄성계수가 크게 다른 재료들이 서로 경계면을 두고서 접합된 재료들에서 발생하는 모든 파괴가 반드시 건조수축이나 열 팽창과 같은 외력에 의해 기인하는 것은 아니며 재료 자체의 자기수축도 접합력의 상실과 이에 따른 일련의 층 분리의 원인이 된다. 만약 접합재료의 접착선상에서 발생하는 초과 응력이 발생하지 않고 움직이거나 변형할 수 있을 정도로 접합재료의 탄성계수가 충분히 낮다면 위와 같은 자기 수축으로 인한 결함은 발생하지 않을 것이다<sup>3,12)</sup>.

2.2.4 투기성과 화학적 호환성

폴리머를 기초로 하는 콘크리트 보수재는 콘크리트 표면을 포함한 폭넓은 분야에서 보수를 위해 빈번하게 사용되며, 특히



Corrosion at +ve Anode "Anode" is made non-corroding -ve cathode

그림 2. 전기화학적 비호환성으로 인한 보수재의 양단부에 형성된 양극영역

재료의 사용조건이 침식성 화학제 있는 환경에 활발하게 사용되어 지고 있다. 만약 불투성의 폴리머 재료가 대규모의 보수재나 오버레이 또는 코팅재로 사용되어 진다면 구체 콘크리트 내부에서 증발하는 수증기는 콘크리트와 표면재 사이에 갇히게 될 것이다. 갇혀진 수증기는 표면층을 과포화상태에 이르게 하여 접합선 부분 혹은 두 재료 중 더 약한 쪽에서 동결융해에 의한 파괴를 일으키는 피해를 초래하기도 한다. 이러한 종류의 파괴 현상은 탄성중합체 폴리머 도막 방수재로 코팅되어진 주차장의 바닥면에서 가끔 관찰된다. 또한 콘크리트에 매입된 보강 철근과 다른 금속 혹은 보수재 위에 도포된 보호 코팅재나 실링재에 대하여 콘크리트 보수재가 독특한 화학 반응성이 존재할 수 있으므로 이 점도 고려돼야 한다. 보통의 보수재는 중성이나 혹은 다소 낮은 pH를 나타내므로 보강근의 부식에 대한 보호 역할을 기대하기는 어렵다. 더욱이 어떤 보수재는 보수재를 보호하기 위해 설치되는 도막방수재와 호환성이 없는 경우도 있다. 그러므로 콘크리트 피착체 뿐만 아니라 표면보호재와의 보수재의 반응성은 반드시 검토되어야 할 사항이다.

2.2.5 전기적 특성

이미 한번 이상 보수를 실시한 부재의 경우 보수재의 전기 저항은 콘크리트와 보수재의 내구성에 지대한 영향을 미친다. 전기 저항이 매우 높거나 혹은 비전도성 보수 재료는 인접한 비손상 부위에 대하여 보수 부위로 하여금 절연성을 띄게 한다. 결국 보수재로 보수가 이뤄진 부분과 콘크리트의 나머지 부분 사이에서 염화물 이온의 차이가 발생하거나 다량의 침투 현상이 발생한다면 <그림 2>에서 보이는 바와 같이 부식 전류는 한정된 지역에 모이게 되고 보수 작업이 이뤄진 경우에는 대부분 보수된 부위와 접하고 있는 콘크리트에 집중되게 된다<sup>11)</sup>.

그러므로 보수부위에 보수재의 형태로 기존 구체콘크리트 위에 설치된 보수재와 구체 콘크리트 사이의 위와 같은 전기화학적 비호환성으로 인하여 야기되는 일련의 현상들은 보수재에서

발생하는 층분리 현상의 주된 원인이며, 보수한 부위의 재파괴와 같은 피해를 초래한다<sup>3,13)</sup>.

명백하게 밝혀지는 사실은 보수재료를 선택하는 일련의 과정은 보수 재료뿐만 아니라 콘크리트 피착체가 가지는 다양한 특성과 보수 재료 제조사가 제공하는 성적서 시험방법과 관련한 보수재료의 중요한 특성들을 면밀하게 파악함으로써 이뤄질 수 있다. 더욱이 보수 재료 중 품질이 우수한 기성 생산품을 선택하는 과정은 이 생산품이 실제 적용/설치되는 시점에서의 사용 환경과 제반 조건들과 밀접하게 관련되어 있다.

### 2.3 시공 인자

재료를 선정하는 과정에 대한 체계적인 접근방법을 구축함으로써 수많은 화학적 물리적 변수들과 더불어 수많은 재료 중에서 작업조건과 사용 환경에 적절한 재료를 선택하는 방법을 합리적으로 처리할 수 있을 것이다. 이를 위해 요구되는 내용은 다음과 같다<sup>8,12)</sup>.

- (1) 사용조건, 현장의 하중(압축, 인장, 전단 하중), 현장의 환경조건, 기후, 화학제와 세설제의 사용유무와 양, 그리고 마모 발생여부와 정도를 검토하여 정의할 필요가 있다.
- (2) 두께, 형상, 깊이를 설치인자로 하는 보수재의 기하학적 요구사항, 코팅재와 도막재의 두께와 적용성능과 특징, 타설방법(손작업, 부어넣기, 펌핑 혹은 빨침) 등을 결정해야 한다.
- (3) 필요한 장비
- (4) 시공이 이뤄지는 동안 시설물을 사용가능 여부, 그리고 접근성, 작업용이성, 작업시간 절약 등의 실제 현장에 발생할 수 있는 제한사항을 요인화한다.
- (5) 보수재료와 피착체 사이의 상호작용, 즉 접착강도, 강도 특성, 건조수축과 양생 기간동안의 균열 저항성 등을 고려한다.
- (6) 마지막으로 위의 사항을 가장 잘 반영하는 재료에 대하여 시험을 실시한다.

많은 제품이 존재하는 코팅재, 도막재 그리고 접착제들은 그 자체의 물리화학적 조성 특성에 따라 저마다 독특한 적용환경과 요구사항을 지니고 있다. 보수 재료의 각각의 구성 성분들은 실제 적용기술에 영향을 줄뿐만 아니라 피착체의 표면 상태 등과 같은 피착체로부터 요구되는 사항들을 결정한다. 예를 들면 얇은 코팅제의 경우에는 표면이 부드러운 재료를 요구할 것이며, 표면이 거친 피착체에는 좀더 단단한 재료를 필요로 할 것이다. 피착체의 상태를 고려하여 보수재료를 적용/설치하는 경우 중요하게 다루어져야 할 특성에 대한 체크리스트의 내용은

다음과 같다<sup>2,9,10)</sup>.

- (1) 점성 : 적용부위의 특성을 고려할 때 점성은 어느 정도이어야 하는가?
- (2) 흐름 특성(레올로지적 특성) : 보수재료는 브러싱, 롤러 코팅, 빨침, 혹은 흡손질의 작업에 용이한가? 그리고 수직이나 수평면에 적용이 가능한가?
- (3) 가사시간(pot life) : 가사시간이 매우 길어야 하는지 아니면 짧아야 하는가?
- (4) 양생 : 적용 조건 및 환경에서 양호한 양생을 기대할 수 있는 온도와 습도의 한계는 어느 정도인가?
- (5) 연속적인 도장막의 형성 : 콘크리트 표면상에 연속적인 막이 쉽게 형성될 수 있는지, 그리고 매끄러운 마무리 처리가 가능한가?
- (6) 단위 유효 적용 범위 : 필름의 두께는 얼마나 필요하며, 단위당 적용범위는 어느 정도인지?

습기나 염화물 이온의 유입을 막기 위해 콘크리트 상판이나 주자장에 적용되는 점탄성 중합체계 도막재의 층 분리와 같은 일상적인 손상 문제는 위와 같은 적용시 검토해야 할 사항을 간과할 때 빈번하게 발생한다.

### 2.4 시험방법

폴리머 자체의 복잡한 구성 체계와 더불어 생산 방법과 최종 생산품에는 매우 폭넓게 분포하는 다양성이 존재하고 적용 현장과 적용 방법에는 수많은 변수들이 존재하기 때문에 이들 폴리머계 보수재료를 평가하기 위한 시험 방법을 선택하는 것조차 매우 복잡한 과정이다. 온도와 하중 재하 시기는 보수재료의 물리적 특성을 측정하는 데 매우 많은 영향을 미친다. 예를 들면, 보통 제조자들에게 인용되는 폴리머 재료의 극한강도는 전형적으로 약 1내지 2분이라는 비교적 짧은 시간에 측정되는 파괴응력으로부터 얻어진다. 하지만 만약 훨씬 더 오랜 기간 동안 일정한 응력이 작용한다면, 아마도 단기 강도의 50% 정도로 상당히 낮은 응력에서 파괴가 일어날 것이다<sup>4,9)</sup>.

그러므로 보수재료의 좀더 의미있고 정확한 특성을 측정하기 위해서는 위의 인자들을 충분히 고려하여 측정절차를 표준화하는 것이 바람직하다. 새로운 ACI 지침들과 특히 건설 산업용 수지 조합물의 시험법이라는 BS-6319.1983/84는 이런 시각에 대한 정보를 제공하고 있다. 그렇다 하더라도 표준화된 절차에 따른 시험이 반드시 특정 적용처에 대한 보수재료의 적합성을 보장하지는 않는다는 점에 유의하여야 한다. 결론적으로 재료를 선택하는 과정과 그 행위는 여전히 풍부한 정보를 가지고 판단이 이뤄져야 한다.

## 2.5 시방 명세 및 규정

폴리머 기반 보수 재료는 근대 건설재료로서는 혁신적인 재료이기는 하지만 건설 산업에서 이미 관습화된 기존의 사용기법/적용기법과는 잘 일치하지 않는다. 이러한 측면에서 볼 때 기존 건설재료의 사양과 성능, 적용기법, 시공기법에 대하여 기술하고 규정하고 있는 시방규준/규정들은 보수를 목적으로 하는 재료와 이의 시공기술/적용법에 대한 명세 내용과 반드시 부합된다고 볼 수 없다.

보수재료와 보수재료의 적용부위 및 적용방법을 기술하는 시방규준/규정이 존재하지 않을 때, 보수 계획을 하는 설계자나 계획자들은 다음 아래의 사항들을 신중하게 다루어 평가하여야 한다<sup>2,9,10)</sup>.

- (1) 실제 작업현장과 유사한 환경에서의 사용 보수재료의 현장 이력 특성과, 가능하다면, 사용 보수재료의 장기 상태/성능 점검할 수 있도록 보수 재료의 설치 후 보수 부위의 개보수가 이뤄지지 않은 적용사례가 존재하는가?
- (2) 보수재료의 제품 품질 명세서에 있는 시험 자료와 타당성
- (3) 유지관리 비용
- (4) 사용 보수재료와 함께 사용되는 기타 재료와의 물리화학적 호환성
- (5) 지속적인 제품 생산이 가능한지, 그리고 제품에 대한 보증기간과 내용
- (6) 사용 보수재료의 성능 및 사용 한계

위의 항목을 감안하여 설치된 시스템의 품질과 소요 재료의 종류를 정의하기 위해서는 반드시 작업 명세서가 준비되어야 한다. 이러한 명세서는 다음의 내용을 포함해야 하지만, 그렇다고 여기에 한정될 필요는 없다<sup>2,5,7,9)</sup>.

- (1) 사용 환경에 알맞은 보수재료의 종류 및 시공 가능한 코팅 두께와 같은 보수재료의 성적 사양
- (2) 보수재료 제조업체가 가지고있는 보수재료의 모든 기술 자료는 납품업체에 제공되어야 한다는 규정
- (3) 도막재나 코팅재와 같은 기타 다른 재료를 설치하는 경우에 요구되는 마감재의 종류 및 콘크리트의 품질에 대한 명세 내용
- (4) 온도, 강우, 바람 같은 기후 조건에 의해 발생하는 적용/설치 작업 시 필요 사항들과 한계점
- (5) 도막재나 실란트와 같은 보조 재료를 설치하는 데 필요한 이음매와 배수부위 등의 상세부위에 요구되는 제반 사항들
- (6) 코팅재와 도막재의 경우에는, 3~5년동안 반드시 재료의

품질을 보증 받을 수 있도록 시공자는 재료 제조자에 의해 승인받거나 인증받은 자이어야 한다는 규정

## 3. 폴리머계 재료를 사용하는 데 있어서 발생하는 문제점들

대부분의 문제점은 건설 보수재료로서 폴리머계 재료를 사용하여 온 역사가 그다지 길지 않다는 점에서 주로 파악할 수 있지만, 이러한 문제점들은 현재 이용가능한 생산품들이 무수히 많다는 점과 결부되어 있다. 이러한 생산품들은 유사하지만 사실상 각 제품들의 성분, 성능과 품질, 적용법 등에는 미묘한 차이점이 존재한다는 점에서 조절이 어려운 문제점들이 존재한다. 다시 말하자면 폴리머의 한 분류인 열경화성 수지는 에폭시, 폴리우레탄, 폴리에스테르, 푸란, 아크릴레이트와 같은 다양한 종류의 수지를 총칭하지만, 열경화성수지로 분류되는 수많은 수지들은 각각 다른 특성을 갖는 다양한 종류의 제품으로 생산되며, 여기서 폴리머는 열가소성수지, 라텍스 에멀전과 점탄성체 등으로 폭넓게 분류된다.

이상의 설명과 같은 재료의 다양성으로 인한 문제점과는 별도로, 대부분의 폴리머 또는 폴리머 개질 시멘트계 재료들은 매우 내구적인 성능을 발휘하며, 심지어 혹독한 침식환경에서도 뛰어난 내구성능을 발휘한다. 그러나 이러한 폴리머계 보수재료들이 콘크리트와의 접착면에 사용되어질 때 그다지 많은 시간이 지나지 않았음에도 불구하고 그토록 많은 시공실패 사례가 보이는 것은 무슨 문제 때문에 발생하는 것일까? 보수재료의 적용 실패사례는 부정확한 사용 또는 적용/시공하기 어려운 현장 상태로 인하여 발생하는 문제점이 가장 많은 비중을 차지할 것으로 판단한다. 보수재료에 대하여 만족스러운 성능을 기대하기 위해서는 반드시 적절한 사용법을 숙지하고, 이에 준하여 시공이 이뤄져야 한다.

그럼에도 불구하고 수많은 실패사례들은 종종 폴리머라는 유기재료와 콘크리트라는 무기성 복합재료 사이의 근본적인 차이가 있다. 예를 들면 수지와 콘크리트가 가지는 허용 응력의 차이보다 두 재료 간에 존재하는 상대적 변위의 차이점에 대한 명확한 인식의 부족으로부터 기인하는 것으로 보인다. 그러므로 적절한 내구성능을 발휘하며 합리적인 조합체를 구성하도록 설계가나 명시자(specifier)가 보수재료와 콘크리트 피착체를 적절하게 대응시킴으로써 혁신적으로 문제점을 해결할 수 있다. <표 1>은 통상적으로 사용되는 건설재료와 폴리머계 재료의 특성을 기술한 것으로 이 표에 기록되어 있는 자료를 통해 이들 두 재료 사이의 공학적 측면에서 존재하는 본질적인 불일치를 설명할 수 있을 것이다<sup>5,9)</sup>.

### 3.1 재료의 상이한 공학적 특성과 복합재료의 성능

재료의 규격 명시자나 재료 설계가는 적용환경과는 관계없이 반드시 다음의 세 가지 주 변수를 고려해야 하고, 이들 변수의 균형을 맞출 수 있는 방향으로 재료의 선정 및 설계를 진행해야 할 것으로 본다.

- (1) 이상적으로 요구되는 재료의 물리·화학적 특성
- (2) 재료 시험자료의 타당성
- (3) 실제 현장 적용시 실현이 가능하고 목표사용기간 동안 그 기능을 계속 유지할 수 있는 재료 및 시공 완성품의 내구 성능

위의 내용은 보수재료의 본질적인 특성과 앞서 진술된 여러 특성들을 측정하는 시험법을 이해할 수 있는 전문지식을 필요로 한다<sup>5)</sup>.

모든 보수재료에 있어서 양질의 접착강도는 최우선적으로 요구되는 성능이다. 이는 물리적으로 서로 다른 두 재료가 접하기 때문에 비록 필수적이기는 하지만, 각 재료의 특성과 성능을 설명 완벽하게 파악하더라도 각 상황에 맞는 적절한 재료를 선택하기에는 부족한 면이 있다. 또한 보수 계획 및 설계시, 폴리머의 기계적 특성에만 관심을 갖고 이를 매우 중요한 것으로 다루고 있는 반면에 보수 대상인 콘크리트 위에 보수재료가 적용되어 완성되는 복합체의 특성과 성능이 훨씬 더 중요한 데도 이점에 대해서는 간과되고 있다. 따라서 폴리머와 콘크리트 사이의 호환성이 높은 보수 시스템을 완성하기 위해서는 반드시 다음과 같은 인자를 중요하게 다루어야 할 것이다.

- (1) 광범위하게 분포하는 폴리머의 특성(어떤 한 부류의 폴리머조차도 각각이 가지는 여러 특성에 따라 다양하게 분포하며 여러 가지로 분류되기 때문에)
- (2) 폴리머의 온도 및 시간이력 특성
- (3) 양생조건의 영향

### 3.2 폭넓게 분포하는 폴리머 특성 및 성능

폴리머의 특성은 매우 넓은 스펙트럼을 이루며 이러한 본질적인 특성은 재료를 선택하고 설계하는 데 있어서 불확실성을 높게 된다. 또한 콘크리트에 대한 보수 작업이 유니트화되고 모듈화된 보수재료로 구성하는 데 있어 각 구성 재료의 특성을 분류하고 대응시키는 작업을 복잡하게 만든다.

예를 들면 모의 현장시험은 많은 정보를 제공해 주기는 하지만, 분류가 같은 재료에서조차도 임의의 모의 현장시험에서 얻은 자료를 다른 현장에서의 성능을 파악하는 데 이용하여

추정함으로써 그르치기 쉬운 오류를 범할 수 있다. 그러므로 가능한 철저하게 재료의 특성과 성능을 규정하고 보수 재료의 상제 시험 성적서를 보유하는 것이 무엇보다도 중요하다<sup>9)</sup>.

### 3.3 온도 및 시간 이력 특성

콘크리트와는 달리 폴리머 재료의 물리적 특성은 온도의 미세한 변화에도 지대한 영향을 받으며 그 기계적 성능은 시간 의존적인 특성을 보인다. 예를 들자면 재료의 온도가 20내지 30℃정도 변화가 일어나는 경우 이를 태면 20℃에서는 단단하고 강한 특성을 보이는 재료가 0℃에서는 단단하지만 취성적인 재료로 변하며 50℃에서는 좀 더 부드럽지만 약한 재료로 변하게 된다. 대부분의 폴리머들은 점탄성적인 성질을 지니며, 온도가 높을 때 더 확연하게 나타나는 지연탄성응답 특성을 보인다. 따라서 폴리머는 콘크리트에 비해 훨씬 심각한 크리프가 발생할 수 있다. 다행스러운 것은 폴리머계 제품을 사용하는 많은 보수 작업은 준 구조용으로 사용되므로 이러한 영향은 무시될 수 있다. 다만, 구조용으로 사용되는 경우에는 폴리머계 보수재료 자체와 피착체와의 계면에 상당히 높은 응력이 발생되므로 이에 대한 좀 더 심도있는 고려가 필요하다. 폴리머계 보수재료의 시간과 온도 의존적 특성은 크리프 변형량을 초과하기 때문에 구조용 보수재료로서는 그다지 바람직하지 않지만 그럼에도 불구하고 보수재료로서 점탄성적 특성은 매우 이로운 점이 존재한다는 것을 강조하지 않을 수 없다. 즉 크리프에 의한 변형으로 인하여 발생하는 응력이완현상은 복합재료 내에 존재하는 잠재적인 파괴응력을 소멸시켜 버리기도 한다. 재료에 발생하는 이러한 응력의 이완 현상은 규준 모르타르나 보수재 혹은 디딤판코와 같이 양생 중 발생하는 수화열, 건조수축, 그리고 사용 중 노출 온도의 변이에 의한 응력이 발생하는 부분에서 일어날 수 있다<sup>2)</sup>.

### 3.4 양생조건

보수 작업이 완료된 보수 부위의 최종적인 성능은 보수 재료의 구성 성분뿐만 아니라 보수 재료의 시공과 경화 반응이 일어나는 동안 취해지는 보수 전후의 사전 준비사항과 보양 대책 등의 적절히 조치가 적시에 이뤄질 때 목표한 바가 이뤄질 것이다. 즉 기대한 보수 재료의 최종목표성능을 획득하기 위해서는 재료의 초기 온도, 양생 온도 및 습도, 보수 재료의 중량과 같은 인자들이 수지의 성능에 어떻게 영향을 미치는가에 대한 평가자료가 필요하지만, 종종 이에 대한 자료가 부족한 경우가 있다. 이러한 인자의 영향을 보여주는 예로는 다음과 같은 것이 있다<sup>9)</sup>.

- (1) 0~5 °C에서 보관된 에폭시계 수지 중 일부는 심각한 응결 지연현상이 발생할 수 있음.
- (2) 재료의 낮은 초기 온도로 인하여 야기되는 가사시간의 단축과 점탄성 재료를 설치할 때 재료의 온도가 늦게 강하함으로써 야기되는 점성의 증대로 인한 사용 수지의 표면 습윤 특성
- (3) 수분이 분산되어 있는 에폭시와 네오프렌 혹은 일액형 폴리우레탄의 경화 속도에 대한 온도와 습도의 영향

#### 4. 결 론

건설 분야에서 폴리머계 보수재료가 광범위하게 사용되어온 중요한 요인으로는 응용이 자유자재인 성능과 특성을 가지고 있다. 이 재료는 재료 화학자나 공학자에 의해 매우 폭넓은 응용 분야에 걸쳐 자신들이 목적하는 성능과 특성에 맞추어 재료를 구성 및 선택할 수 있다. 하지만 폴리머계 보수재료가 다채로운 응용성을 계속해서 유지하기 위해서는 다음과 같은 사항을 심사숙고할 필요가 있다.

첫 번째로 재료 설계가, 명시자 그리고 사용자들은 폴리머와 구체 콘크리트 사이의 근본적인 이질성으로 인한 물리 화학적 불일치성을 인정하여야 하며, 두 번째로 재료의 선정단계에서 보다 객관적이며 명확하고 분명한 방법으로 판단을 내려야 한다.

명시자와 사용자는 선정된 재료의 열팽창계수, 경화·온도·시간 응답 특성, 건조수축, 탄성계수와 크리프의 특성을 충분히 파악하여 재료 선정 및 설계하는 과정 동안에 자신에게 확신을 줄 수 있어야 한다. 재료의 사용 기간 중에 예상되는 온도의 변이에 따른 폴리머의 응답 특성을 예측하기 위해 엔지니어가 이용할 수 있는 유리 전이온도에 대한 충분한 정보를 제조회사는 확보해서 제공하여야 한다.

재료의 성능 및 특성을 평가하는 방법에 대한 폭넓은 합의가 부족한 경우에는 사용자의 입장에서 보수 재료의 평가가 이뤄지지 않고 제조자의 편의와 이익을 향하여 좁고 한정된 평가가 이뤄지게 될 가능성이 높다. 하지만 보수재료와 보수 기법은 현재에도 활발하게 연구 개발되어오고 있기 때문에 보수 재료의 성능 및 특성 시험을 표준화하려는 시도는 다양한 보수재료의 단일 특성을 파악하거나 비교 시험을 하는 것 외에는 부적당하여 보인다. ■

#### 참고문헌

1. Alfred, R., Alfred, H., and Gustave, P., "Experiences on barrier layer on the surface of concrete", *Proc., RILEM Seminar on Durability of Concrete Structures under Normal Outdoor Exposure*, Hanover, Germany, 1984, pp.116~220.
2. American Concrete Institute, "Epoxy with concrete", *ACI Publication S.P. 21*, ACI, Detroit, 1968, pp.5~8, 29~36, and 93~106.
3. Cusson, D. and Mailvaganam, N. P., "Durability of repair materials", *Concr. Int.*, Vol.26, No.9, 1996, pp.35~38.
4. Hewlet, P. C. and Hurley, S. A., "The consequences of polymer-concrete mismatch", *Proc., The Design Life of Buildings, Joint Institute of Civil Engineers / Concrete Society / RIBA Symp.* Thomas Telford, London, 1984, pp.26 ~27 and 179~196.
5. Hewlet, P. C., "Assessment & evaluation of polymer-based repair materials", *Concr. Int.*, Vol.22, No.3, 1993, pp.35~38, and 39~41.
6. Kuhlmann, I. and Walters, G., eds., *Polymer modified hydraulic-Cement mixtures, STP 1176*, ASTM, Baltimore, 1993, pp.7~18 and 35~43.
7. Mailvaganam, N. P., ed. "Repair and protection of concrete structures", *The science of concrete and polymeric building materials, Chap. 1*, CRC, Boca Raton, Fla., 1992, pp.31~42.
8. Mailvaganam, N. P. and Alexander, A., "Selection of repair materials using expert advice", *Concrete Repair Bulletin*, Vol.12, No.3, 1996, pp.12~15.
9. Ohama, Y., "Polymer-based materials for repair and improved durability: Japanese experience", *Constr. Build. Mater.*, Vol.10, No.1, 1996, pp.77~82.
10. Plum, D., "Materials-what to specify?", *J. Constr. Maintenance Repair*, Vol.6, No.2, 1991, pp.3~7.
11. Revie, R. W. ed. (2000). *Corrosion of steel in concrete*, Uhlig's corrosion handbook, 2nd ed., Interscience, New York, 581-600.
12. Sasse, H. R., ed., "Adhesion between polymers and concrete", *Proc., RILEM International Symp.*, Paris, 1986, pp.144~151, and 230~244.
13. Schupack, M., *Divorces and ruptured relations between epoxies and concrete*, *Concr. Constr.*, 1980, pp.735~738.
14. Warner, J., *Selection of repair materials*, *Concr. Constr.*, 1984, pp.72~74.