

콘크리트 維持管理用 에폭시樹脂의 附着性能에 미치는 要因에 관한 基礎的 研究

A foundational study of Effect Elements on Adhesive strength of Epoxy Resin for Concrete Maintenance

고 장 열* 곽 규 성* 정 환 목** 이 동 열*** 오 상 근**** 박 국 배*****
KO, Jang Ryul Koak, Kyu Sung Jeong Hwan Mok LEE, Dong Yeoul, Oh, Sang Keun Park Guk Bae

ABSTRACT

This study deals with the effect on adhesive strength properties of waterproofing and reinforcing layer and mortar or concrete substrate applied by epoxy resin anticorrosive and bonding materials.

Properties of adhesive strength change condition of concrete substrate, temperature, moisture, curing and cleaning and so on. The purpose of this study is that it makes the estimation value of bond strength of concrete wall and epoxy resin layer when coated epoxy resin as anticorrosive materials for durability performance estimation depend on concrete watertightness, and when penetrated epoxy resin for the reinforcement of concrete used the carbon fiber sheet.

1. 서 론

콘크리트 구조물 중 음용수를 생산·저장하는 상수도 시설의 배수지, 정수지 및 건축물의 음용수 저장용 콘크리트 수조 그리고 오폐수, 배수시설, 정화조 등 하수도 시설관련의 콘크리트 내벽 방식을 목적으로 에폭시수지계 방식도장재가 많이 사용되고 있다. 또한 최근에는 많은 구조물에 있어서 보강을 목적으로 탄소섬유·아라미드 섬유·강판 등을 이용한 성능 개선 공사가 수행되고 있고, 이때 주요하게 사용되는 보강재가 에폭시수지계 접착제이다. 이와같은 방수·방식·보강을 목적으로 에폭시수지를 이용할때 가장 중요한 기능은 콘크리트 바탕에 양호한 부착력을 유지하여야 한다.

특히 밀폐수조는 일단 물을 채우게되면 유지관리가 곤란하기 때문에 에폭시수지계의 장기적인 내구수명 확보 조건으로서 강력한 부착력이 요구되고 있다. 또한 섬유시트 보강부위 등에서도 에폭시수지계의 부착력에 의해 섬유 시트 보강재의 장기적 인장보강 성능을 확보·유지 할수있다. 따라서 본 연구에서는 에폭시수지 접착제의 양호한 부착력 확보를 위해 이에 관련한 영향요인을 분석한다.

* 서울산업대학교 대학원 석사과정

** 서울산업대학교 건축설계학과 겸임교수, 공학박사

*** 삼성물산(주) 건축부문, 건축기술 팀장

**** 서울산업대학교 건축설계학과 교수

***** 서울산업대학교 건축공학과 교수

2. 연구의 내용 및 범위

콘크리트용 에폭시수지계 방수·방식재, 또는 보강용재는 바탕의 청결도(레이턴스 등의 제거 유무) 및 건조상태, 주변의 온습도 조건에 따라 부착특성이 크게 달라진다. 그러나 아직 우리나라에서는 부착력에 관련한 품질기준 및 시험방법이 규정되어 있지않아 현장에서의 방수·방식, 혹은 보강부위의시공 및 품질관리상의 많은 문제점을 안고 있다. 따라서 본 연구에서는 (1)콘크리트 바탕의 건조조건, (2)청결상태에 따른 부착력, (3)주변의 온도조건, (4)시공시의 바탕조정재의 사용조건 등 현실적으로 시공현장에서 나타나는 주요인 조건에 따라 부착성능의 변화정도를 평가하여, 향후 콘크리트 구조물에 에폭시수지계 재료 사용에 따른 시공 및 품질개선 차원의 기초자료를 마련한다.

3. 시험방법

3.1 재료 및 시험체

(1) **에폭시수지** 에피클로로히드린과 비스페놀A를 주성분으로 하고, 폴리아민류를 경화제로 한 무용제형 에폭시수지를 대상으로 하였다. 현장타설 콘크리트(W/C: 55%)는 타설후 14일 지난 콘크리트(바탕콘크리트 A)와 타설후 3개월이 지난 콘크리트(바탕콘크리트 B)를 대상으로 부착력을 평가하였다.

(2) **부착력 평가 시험체** 물시멘트비 55%의 20×6×2cm의 모르타 시험편 위에 4×4cm 크기의 어테치먼트를 3개 부착하여 1개 시험체당 3회의 부착력을 측정할 수 있도록 하였고, 양생조건에 따른 부착력 평가 시험체는 물시멘트비 55%의 30×30×5cm의 콘크리트 블록형 시험체를 사용하여 1개 시험체당 6회의 접착력을 측정할 수 있도록 하였다. 시험체는 타설후 14일간 습공양생(R.H. 90%이상, 상온조건)한 후 에폭시수지재를 도포하였다. 각 조건의 시험체는 폴리머시멘트계 바탕조정재 위에 에폭시수지재를 도포한 것과, 프라이머 위에 직접 에폭시수지재를 도포한 것으로 구분하여 부착력을 평가하였다.

(3) **현장 바탕 콘크리트 시험체** 콘크리트 바탕과의 부착력이 작으면 박리, 탈락, 들뜸, 균열이 발생하여 방수·방식성능 및 보강성능이 떨어진다. 특히 동절기 공사가 잦은 우리나라에서는 콘크리트 바탕에 형성되는 에폭시수지재의 부착력이 장기성능을 좌우할 것으로 판단되어, 동절기(11월 ~ 1월, 실외 : 영하 5℃에서 - 영상 5℃ 범위, 실내 : 영상 2℃에서 영상 10℃ 범위) 시공 조건에서 에폭시수지재가 어느정도의 부착력을 보유할 수 있는가를 시험체 및 현장타설 콘크리트를 대상으로 시험한다.

3.2 시험 및 평가방법

시험방법은 KS F 4715(얇은 나무리용 벽 바름재), JIS A 6909(박층마감도재), JIS A 6910(복층마감도재)의 부착력 시험방법에 준하여 측정하였다. 현장 각종 시험체의 부착성능은 에폭시수지재 도포후 재령 28일에 3개소 이상에서 측정하여 이들 평균값을 부착강도로 하였다. 시험체에 의한 부착성능은 건조바탕의 환경조건과 에폭시수지재 도포후의 양생조건에 따라 2주, 4주, 8주의 부착강도를 측정하였다.

평가는 측정시 어테치먼트의 탈락상태에 따라 모체(바탕)파괴, 바탕과 에폭시수지재 층의 계면 탈락, 에폭시수지재 층의 파손탈락, 에폭시수지재 층과 어테치먼트의 경계면 탈락으로 구분되지만, 본 연구에서는 모체(바탕)파괴, 바탕과 에폭시수지재 층의 경계면 탈락상태만을 중심으로 부착력을 평가하였다.

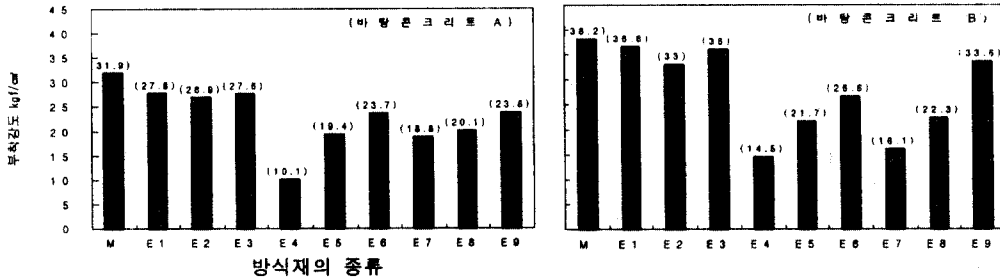
4. 결과 및 고찰

4.1 현장 타설 콘크리트에서의 부착력

현장 타설 콘크리트 조건에 따른 에폭시수지의 부착력은 <표-1>, <그림-1>과 같다. 각 재료별의 평균 부착력 범위는 바탕콘크리트 A(표면부착강도 31.9kgf/cm²)에서는 프라이머 위에 도포한 에폭시수지의 부착력은 약 27~28kgf/cm²의 범위로 나타나고, 바탕조정제 위에 도포한 에폭시수지의 부착력은 약 19~24kgf/cm² 범위로 나타나고 있다. 바탕콘크리트 B(표면부착강도 38.2kgf/cm²)에서는 프라이머 위에 도포한 에폭시수지의 부착력은 33~37kgf/cm²의 범위로 나타나고, 바탕조정제 위에 도포한 에폭시수지의 부착력은 16~34kgf/cm² 범위로 나타나고 있다. 본 시험결과 초기 재령 콘크리트에 도포한 에폭시수지의 부착력보다 3개월 이상 경과한 콘크리트에 도포한 에폭시수지의 부착력이 상대적으로 크게 나타나고 있다. 또한 프라이머(접착제) 위에 도포한 에폭시수지재가 바탕조정제 위에 도포한 에폭시수지의 부착력보다 크게 나타나고 있다. 이는 일정 두께를 유지하는 바탕조정제의 강도가 바탕 혹은 에폭시수지재의 부착력에 영향을 주기 때문으로 판단된다.

<표-1> 에폭시수지재 도포 현장타설 콘크리트의 부착강도

시편종류	바탕콘크리트 A	바탕콘크리트 B	비고
	부착강도(kgf/cm ²) 재령28일(폭로양생)	부착강도 kgf/cm ² 재령 28일(폭로양생)	
바탕 콘크리트	31.9	38.2	W/C:55%
E ₁	27.8	36.6	프라이머위 도포
E ₂	26.9	33.0	
E ₃	27.6	36.0	
E ₄	10.1	14.5	
E ₅	19.4	21.7	경화불량
E ₆	23.7	26.6	
E ₇	18.8	16.1	
E ₈	20.1	22.3	
E ₉	23.8	33.6	



<그림-1> 현장 타설콘크리트의 부착강도

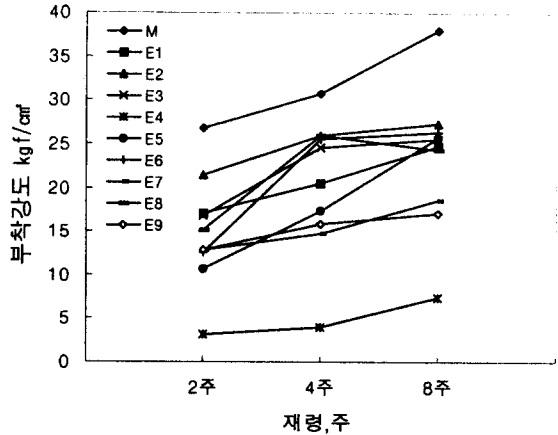
4.2 재령조건에 따른 부착력

에폭시수지 도포 모르타 시험체의 재령진행별 부착력은 <표-2>, <그림-2>와 같다.

<그림-2>에서 각 에폭시수지의 부착력은 재령증가에 따라 증가하고 있다. 프라이머 위에 에폭시수지를 도포한 경우(E₁, E₂, E₃)는 21~25kgf/cm²의 부착력을, 폴리머시멘트계 바탕조정제 위에 에폭시수지를 도포한 경우(E₅, E₆, E₇, E₈)는 15~22kgf/cm²의 부착력을 나타내고 있어 프라이머(접착제) 위의 에폭시수지의 접착력이 크게 나타나고 있다. 이는 바탕조정제의 강도 혹은 바탕조정제와 에폭시수지의 부착력, 프라이머와의 에폭시수지의 부착력에서 차이가 나타나는 결과로 판단된다. 단, 에폭시수지층의 형성 상태를 보면 프라이머 위에 도포한 경우는 바탕콘크리트에 존재하는 곰보, 균열, 요철부분 등이 그대로 노출되기 때문에 근본적으로 문제점을 안고 있다.

<표-2> 에폭시수지재 도포 모르터 시험체의 재령별 부착강도

바탕 조건	시편 종류	재령 2주 평균접착력	재령 4주 평균접착력	재령 8주 평균접착력	전체평균	비고
건조 바탕 (기건 양생)	바탕 모르터	26.8	30.7	38.0	31.8	W/C:60% 모르터 시험체
	E1	17.0	20.5	24.7	20.7	프라이머 위 도포
	E2	21.4	26.0	27.3	24.9	
	E3	16.8	24.6	25.5	22.3	
	E4	3.1	3.9	7.4	4.8	도막경화불량
	E5	10.6	17.3	25.6	17.8	바탕조정제 바름위 도포
	E6	12.5	25.5	26.4	21.4	
	E7	12.9	14.7	18.5	15.3	
	E8	15.1	25.9	24.3	21.7	
	E9	12.8	15.8	17.1	15.2	



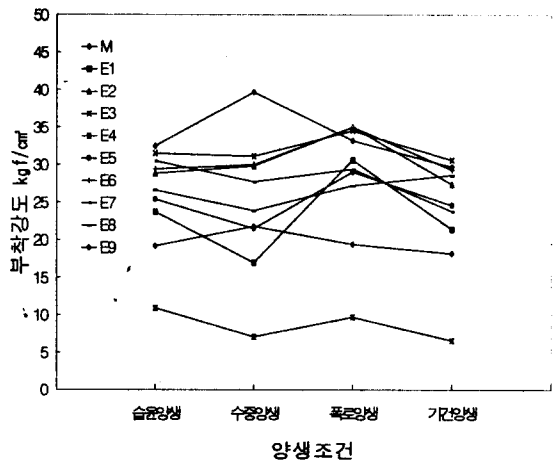
<그림-2> 재령진행에 따른 부착강도

4.3 양생환경 조건에 따른 부착력

에폭시수지재를 도포한 바탕시험체를 습윤양생, 수중양생, 폭로(옥외)양생, 건조양생 환경에 방치한 후 그 부착력을 비교한 결과는 <표-3>, <그림-3>과 같다. 에폭시수지재별 부착강도의 편차가 크게 나타나고 있으나, 부착력은 E4의 경화불량 시험체를 제외하고는 대체로 15kgf/cm² 이상의 부착력을 나타내고 있다.

<표-3> 에폭시수지재 방식재 도포 콘크리트의 양생환경별 부착강도

바탕 조건	시편종류	부착강도(kgf/cm²) (재령 28일)				비고
		습윤양생	수중양생	폭로양생	기건양생	
건조 바탕 위	바탕 콘크리트	32.5	39.7	33.2	29.7	W/C : 55% 콘크리트시험체 (30×30×5cm)
	E1	23.7	17.0	30.6	21.4	프라이머 위 도포
	E2	28.8	29.8	35.0	27.4	
	E3	31.5	31.1	34.5	30.6	
방식 재 도장	E4	10.9	7.1	9.7	6.6	경화불량
	E5	25.4	21.5	29.0	24.6	바탕 조정제 위 도포
	E6	29.4	30.0	35.0	29.3	
	E7	30.5	27.7	29.4	23.8	
	E8	26.6	23.9	27.2	28.6	
	E9	19.2	21.8	19.4	18.2	



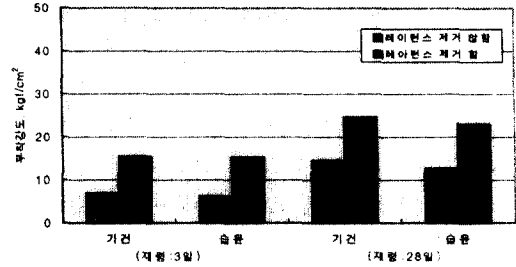
<그림-3> 양생환경 조건별 방식층의 부착강도

4.4 바탕청소 상태와 부착력

에폭시수지재를 도포하기 전 바탕 시험체의 레이턴스 제거 유무에 따른 부착특성을 비교한 결과 (재령28일 기준), 레이턴스 제거 후 에폭시수지재를 도포한 경우 약 21~23kgf/cm², 레이턴스를 제거하지 않고 에폭시수지재를 도포한 경우 약 12~14kgf/cm²로 큰 차이를 보이고 있다<표4, 그림4 참조>.

<표-4> 레이턴스제거 유무에 따른 부착강도 비교

시편의 종류		3일강도		28일강도		비고
		기건	습윤	기건	습윤	
모르터 시험체	레이턴스 제거 않함	6.9	6.2	14.4	12.8	
	레이턴스 제거	15.46	15.30	24.5	23.0	



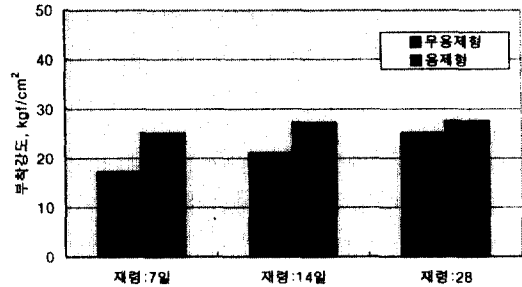
<그림-4> 레아턴스 제거에 따른 부착강도 비교

4.5 프라이머 종류와 부착력

바탕 콘크리트 강화. 부착력 증강을 목적으로 사용되고 있는 프라이머는 일반적으로 바탕콘크리트 상태(건조바탕, 습윤바탕 등에) 따라 분류되어 사용되고 있다. 부착특성은 수용성 약21kgf/cm², 유성 약27kgf/cm²로 20%정도의 차이를 보이고 있다<표5, 그림5 참조>.

<표-5> 프라이머 종류에 따른 부착강도 비교

시편의 종류		부착강도(kgf/cm ²)			비고
		1차 (재령:7일)	2차 (재령:14일)	3차 (재령:28일)	
모르터 시험체	수용성	17.12	21.05	25.14	
	유성	25.10	27.22	27.53	



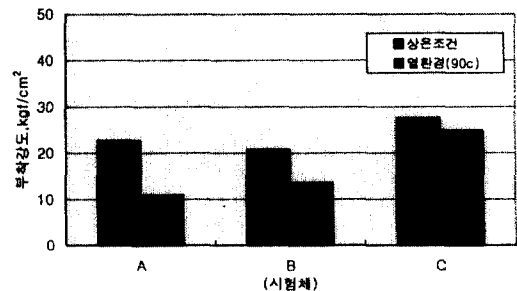
<그림-5> 프라이머 종류에 따른 부착강도

4.6 고온환경과 부착력

보수·보강재의 부착력 유지 차원에서 사용되고 있는 에폭시수지의 고온환경(90℃ 1시간 유지)에 따른 부착특성은 상온 20kgf/cm²이상, 고온환경 13kgf/cm²로 약 40%정도의 부착강도 저하를 보이고 있다<표6, 그림6 참조>.

<표-6> 열환경에 따른 부착강도 비교

시편의 종류 (재령:28일)		부착강도(kgf/cm ²)		비고
		상온조건	열환경(90℃)	
모르터 시험체	A	22.62	10.90	
	B	20.66	13.57	
	C	27.53	24.87	



<그림-6> 열환경과 부착강도 비교

5. 고 찰

<그림-1>~<그림-6>에 나타난 바와 같이 에폭시수지 부착강도의 편차는 크게 나타나고 있다. 재료별 부착강도의 편차는 구성재료의 배합비, 바탕조정 상태, 프라이머의 접착력, 바탕조정제의 강도, 특히 시공과정에서의 양생 등의 차이에서 나타날 수 있는 현상으로 고려된다. 따라서 에폭시수지에 대한 부착력 검토는 재료자체의 물성, 사용 프라이머 및 바탕조정제의 특성, 온도 및 습도조건, 시공정밀도, 양생 등 다양한 관련 기술이 후속적으로 검토되어야 한다.

6. 결 론

본 연구에 사용한 무용제형 에폭시수지의 부착력 시험결과는 다음과 같다.

- (1) 바탕조정의 조건에 따라 부착강도의 양상은 다르게 나타난다. 바탕조정제를 바르지 않고, 프라이머(접착제)와 에폭시수지재를 도포한 것이 부착강도가 높게 나타나고 있으나, 바탕조정을 하지 않은 관계로 콘크리트 구체의 곰보, 구멍, 균열 등의 결함이 그대로 나타나기 때문에 적절한 시공법이 되지 못하고 있다. 따라서 기본적으로 바탕조정제 처리 후의 부착강도 평가가 중요한 의미를 갖는다.
- (2) 에폭시수지의 부착력은 재령의 증가에 따라 높아지는 경향을 나타내고 있다. 본 시험결과 도포 후 28일 이후에서도 부착강도가 증가함을 알수 있어, 28일 이상 양생기간을 가진 후 담수를 하는 것이 바람직하다고 생각된다.
- (3) 에폭시수지를 도포한 바탕콘크리트의 환경조건에 따라 부착력이 다소 달라지고 있으나, 전체적으로 15kgf/cm²의 부착력을 나타내고 있다..
- (4) 바탕 콘크리트의 청소상태에 따라 약 50%의 부착강도 차가 나타나므로 반드시 바탕청소를 해야 한다.
- (5) 바탕의 습윤, 건조 조건에 따라 수용성 및 유성형 프라이머 사용에 유의하여야 한다.
- (6) 보강용 에폭시수지는 시공 후 고온의 영향을 받으면 부착력이 감소함으로 시공 후 유지관상 주위해야할 것으로 사려된다.
- (7) 본 연구에서의 부착력은 에폭시수지의 시공에 대한 일반적 품질기준 설정을 위한 참고자료로서 활용하고자 한다.

<참고문헌>

1. 서울시 상수도 사업본부 : 상수도시설 콘크리트 구조물 내부 방수·방식재료 시험평가 및 적정시공방법 비교연구, 1997. 3.
2. 일본수도협회 : 수도용 콘크리트 내면 에폭시수지도료 도장방법, 1997. 5.