비할로겐계 난연제를 이용한 콘크리트 보수, 보강용 난연 FREP에 관한 연구

Study on the Flame-retardative FREP for the Reinforced Concrete Using Flame Retardant of Non-Halogen System

양석우* 김강열** 송 훈*** 최낙운*** 이철웅**** 소양섭*****
Yang, Suk Woo Kim, Kang Youl Song, Hun Choi, Nak Woon Lee, Chol Woong Soh, Yang Seob

ABSTRACT

FREP(Fiber Reinforced Epoxy Panel), the products of our company, was widely made full use of a field of the reinforced concrete. In particular, the FREP used for repair and reinforcement of the subway and tunnel is required flame retardative property. In this study, flame retardative FREP using flame retardant of non-halogen system was fabricated by impregnation method. Flame retardative grade was the third grade. Tensile strength, flexural strength, and compressive strength was 1,384, 1,298, and 1,450kg/cm^2, respectively.

1. 서론

콘크리트 구조물의 보수·보강에 에폭시 수지(epoxy resin)를 접착제로 사용하는 점에 착안하여 제작한 당사의 섬유보강 에폭시 판넬(Fiber Reinforced Epoxy Panel, FREP)은 EPOXY-PANEL을 이용한 콘크리트 구조물의 보수·보강공법이란 명칭으로 건설교통부 제110호 신기술로 지정되어 콘크리트 구조물의 보수·보강에 널리 활용되고 있다. FREP는 에폭시 수지 몰탈에 물성이 우수한 유리섬유를 함침, 적층시킨 것으로 주입 접착제와 동종의 재질(에폭시 수지)을 사용하여 부착강도를 극대화시킴으로써 구조물과의 일체성을 확보하고 내구성을 향상시켰을 뿐만 아니라 염해와 부식에도 강한 제품으로 콘크리트 구조물의 보수·보강 현장에 널리 활용되고 있다[1].

본 연구는 도시 지하철, 철도 터널 및 도로 터널 등과 같이 화재 발생시 많은 인명피해를 줄 수 있는 장소에 당사의 FREP공법을 적용하기 위한 것으로 FREP의 기계적 물성은 그대로 유지하면서 난연성이 부여된 난연 FREP를 제작하는 것이다. 특히, 다이옥신, 퓨란 등을 발생시킬 수 있는 할로겐계 난연제 대신에 환경 친화적인 비할로겐계인 수화금속계 난연제를 사용하였다. 이와 같이 제조한 난연 FREP의 기계적 물성은 KSF 2241, 2242 및 KSM 3816의 시험방법을 통하여 인장, 굽힘 및 압축강도를 각각 측정하였고, 난연성은 KSF 2271의 시험방법으로 그 특성을 조사하였다.

*정회원, 근형기업(주) 기술연구소 소장, 공박
**정회원, 근형기업(주) 기술연구소 연구원
***정회원, 전북대학교 공업기술연구센터, 공박
****정회원, 전북대학교 건축공학과 박사과정
*****정회원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공박

2. FREP (섬유보강 에폭시 판넬)

당사가 개발한 FREP는 고강도의 유리섬유에 에폭시 수지를 함침, 적층하여 압착, 성형한 판넬형의 콘크리트 구조물 보강재로서 콘크리트 구조물이 열화되어 내구성이 저하되거나 내하력이 부족한 구조물의 보강재로 제작된 제품이다.

2.1. 제품의 구성

FREP는 에폭시 수지에 충진제(시멘트, 실리카, 착색안료 등)를 일정비율로 혼합하여 에폭시 수지 혼합 몰탈을 제조한 후, 유리섬유를 함침, 적층한 것이다. 그림 1은 FREP의 단면도를 나타낸 것이다. 사용되는 유리섬유는 전기절연성이 우수하고, 치수 안정성이 좋고(신율 3~4%, 탄성회복율 100%), 불연성이고 또한 무연·무가스성이며, 내열성·내화성이 우수(내열온도 300~550℃, 연화온도 840℃)할 뿐 아니라 생리적으로 안정한 물성을 갖춘 것을 선택하여 사용하였다.

2.2. 제품의 적용

본 제품의 응용면을 살펴보면, 그림 2와 같이 지하철이나 일반터널의 라이닝 두께부족, 단면파손,

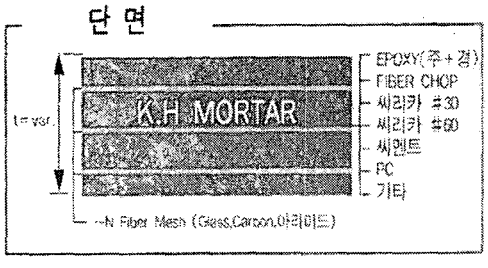

그림 1. FREP의 단면도

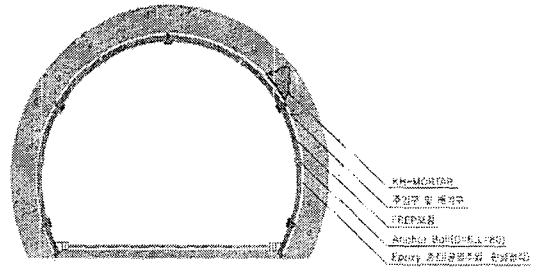

그림 2. FREP의 응용(터널구조물)

표면열화 및 누수 등 주로 터널 상단부에 방수와 보강을 동시에 시행하고자 할 때, 그림 3과 같은 슬래브와 같이 초과하중에 의한 피로 및 손상 등으로 설계 내하력이 저하된 구조물의 내하력 증진은 물론 교통량의 증가와 차량의 중량화에 따라 교량등급을 상향 시키고자 할 때, 특히, 지하철과 같은 터널은 화재예방과 보수·보강을 동시에 만족해야 하므로 당사의 섬유보강 에폭시 판넬에 난연성[2]을 부여하여 난연 섬유보강 에폭시 판넬을 제작하였다. 이 뿐만 아니라 비말대 및 우물통의 보강, 잔교, 각종 해양시설물 및 해양구조물과 같은 항만 구조물에 많이 적용된다.

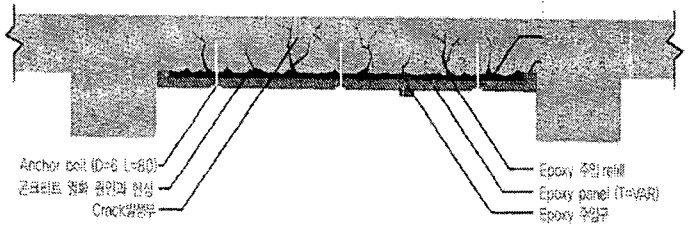

그림 3. FREP의 응용(교량구조물)

3. 실험방법

3.1. 원료의 준비

실험에 사용된 원료로, 국도화학 제품은 Bisphenol-A형 Epoxy 수지인 YD-115CA, YD-128과 경화제는 G-A0533, G-0240, KH-252, H4175, DETA, KH-30 및 D-230 등이고 금호피앤비에서는

KER-815 등의 에폭시 수지[3-4], 그리고 판넬의 물성향상을 위한 특수 수지는 Bakelite와 Air Products에서, 또한 소포제 및 분산제는 BYK에서 구입하였다. FREP에 난연성을 부여하기 위해 주로 사용된 난연제는 수산화알루미늄과 적인 이었으며, 그 밖에 실라카 등의 충진재와 착색안료를 사용하였다.

3.2. 실험방법

에폭시 수지에 난연제(수산화 알루미늄, 적인 등)와 착색안료(이산화 티탄, 산화철황 등) 및 충진재(시멘트, 실리카, 탈크 등)를 혼합하여 난연 에폭시 수지 몰탈을 만들었다. 제조된 에폭시 수지 몰탈과 당량을 맞춘 경화제를 섞은 후, 미리 만들어진 몰드에서 유리섬유를 함침, 적층하여 난연 FREP를 제조하였다. 제조된 난연 FREP의 기계적 물성(인장, 압축 및 휨강도)은 본 연구실에 구비된 만능시험기 또는 한국건자재시험연구원에 시험검사를 의뢰하여 측정한 후, 그 결과를 토대로 실험내용을 수정하면서 연구를 수행하였다. 또한, 동시에 난연성은 KS F 2271의 난연시험 항목을 토대로 자체 제작한 난연시험기(표면시험)를 활용한 후, 정확한 측정은 방재시험연구원에 시험검사를 의뢰하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 난연 특성

본 연구는 환경오염을 최소화하면서 최대의 난연효과를 얻을 수 있는 비할로겐계 난연제를 이용하여 난연 섬유보강 에폭시 판넬을 개발하여 콘크리트 구조물의 보수·보강은 물론이거니와 2003년 2월 대구지하철에서 발생한 화재와 같은 대형 참사로부터 인명과 재산을 보호하는데 그 목적을 두고 제품을 개발하였다. 개발한 난연 FREP의 난연성 측정은 방재시험연구원에 시험 의뢰하였다. 난연성 급별은 난연 1급, 난연 2급 및 난연 3급과 같이 3종류로 분류하며, 난연 3급 측정 항목은 표면시험과 가스유해성시험으로 나눈다. 표 1은 본 연구팀이 개발한 난연 FREP를 방재시험연구원에서 측정한 후, 난연 3급 적합판정이 된 것으로 표면시험과 가스유해성시험의 결과를 나타내고 있다.

표 1. 난연 FREP의 난연 3급 시험결과

시험항목 \ 시험체번호			1	2	3	기준
표면시험	온도시간면적 (℃×분)	3분이내	0	0	0	0
		3분이후	4.6	0	87.4	350 이하
	발연계수 (CA)		2.0	3.0	7.0	120 이하
	잔염시간 (초)		22	20	23	30 미만
	전체두께에 걸친용융		없음	없음	없음	없을것
	뒷면의 균열폭 (mm)		0	0	0	두께×1/10 미만
	방화상 유해한 변형 등		없음	없음	없음	없을것
가스유해성시험	행동정지시간 (분:초)		14:28	13.36		9분 이상

난연 3급의 표면시험은 시험체의 개수를 3개로 한다. 시험체의 열을 받는 면(수열면)의 크기를 가로·세로 각각 18cm로 하고, 처음에 부열원으로 3분 동안 가열한 후, 다시 주열원으로 3분 동안 가열하여 총 6분간 가열한다. 판정은 i) 시험체 전체 두께에 걸친 용융(합성구조인 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함), 시험체 뒷면에 대한 균열(뒷면의 균열 나비가 전체 두께의 1/10 이상인 것에 한함), 그 밖에 방화상 현저하게 해로운 변형 등이 없어야 한다. ii) 가열 종료 후, 30초 이상 잔류 불꽃이 없어야 한다. iii) 배기 온도 곡선이 표준 온도 곡선을 초과하고 있는 부분의 배기 온도 곡선과 표준 온도 곡선으로 둘러싸인 부분의 면적(단위 ; ℃×분)이 350 이하여야 한다. iv) 단위 면적당 발연계수(C_A)는 120을 초과하여서는 안된다. 위와 같은 판정 기준에 의하여 본 연구진이 개발한 난연 FREP는 표 1에 나타난 것처럼 용융이나 균열이 없었으며, 잔염은 시험체 전부 30초 미만이었고, 발연계수도 120에 훨씬 미치지 못하여 난연 3급 FREP를 성공적으로 개발한 것을 확인할 수 있었다. 가스

유해성시험을 하기 위한 시험체는 표면시험 시험체와 같으며 개수는 2개로 한다. 가열시험은 표면시험 할 때와 같이 시험체의 수열면의 크기를 가로, 세로 각각 180mm로 하고, 처음에는 부열원으로 3분간 가열한 후 다시 주열원으로 3분간 가열한다. 가열 시험은 시작할 때 피검 상자 내의 온도는 30℃로 하고, 실험용 흰 쥐는 18~22g의 무게인 5주령에 해당하는 흰 쥐를 1마리씩 넣은 회전 바구니(회전 바구니의 회전 부분은 원칙적으로 알루미늄제로 하되, 무게는 75g 이하로 함) 8개를 피검 상자 내에 넣는다. 가열을 시작해서 시험용 흰 쥐가 행동을 정지할 때까지의 시간(이하 행동 정지 시간이라 함)의 측정은 자동 기록할 수 있는 장치를 사용하였으며, 가열은 시작 후, 15분간 개개의 실험용 흰 쥐마다 실시하였다. 판정은 시험체 2개에 대한 각각의 흰 쥐 평균 행동 정지 시간의 값이 9분보다 클 경우를 합격으로 한다. 위와 같은 시험조건에 따라 측정한 2개의 난연 FREP 시험체의 흰 쥐 행동 정지시간이 14분 28초와 13분 36초로 나타나 합격 판정을 확인할 수 있었다.

4.2. 기계적 물성

그림 4는 난연 FREP의 인장강도, 굽힘(휨)강도 및 압축강도의 기계적 물성값을 알아보기 위해 KS 규격에 의하여 제조한 시편들이다. 준비된 시편들은 한국건자재시험연구원에 의뢰하여 기계적 물성값을 측정하였다. 표 2는 측정된 기계적 물성값을 나타낸 것이다. 그 결과 인장강도, 굽힘강도 및 압축강도가 각각 1,384, 1,298 및 1,450kg/cm^{2}이었다. 따라서 본 연구를 통하여 개발한 난연 FREP 시공에 필요로 하는 충분한 기계적 물성값을 갖추었다는 것을 확인하였다.

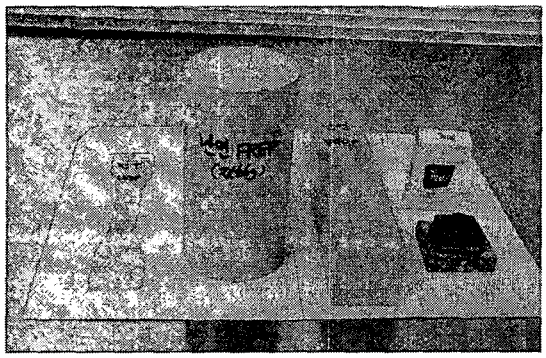

그림 4. 기계적 물성 측정용 시편.

표 2. 난연 FREP의 기계적 물성

시험항목	시험결과 ($Kg_f/cm^{2)}$)	시험방법
인장강도	1,384	KSF 2241 '99
굽힘강도	1,298	KSF 2242 '99
압축강도	1,450	KSM 3816 '97

5. 결론

본 연구를 통하여 당사가 이미 개발하여 콘크리트 구조물의 보수·보강에 널리 활용되고 있는 건설교통부 제110호 신기술인 FREP 보수·보강공법에 환경 친화적인 비할로겐계인 수화금속계 난연제를 첨가하여 콘크리트 구조물을 보수·보강에 충분한 기계적 물성값을 가진 난연 3급 FREP를 제작하였다. 또한, 본 연구의 결과를 통하여 당사는 명칭 "수산화 알루미늄이 첨가된 난연 에폭시 수지와 유리섬유(Glass roving cloth)로 제작된 난연3급 FRP 패널과 주입용 난연 에폭시 수지를 이용한 콘크리트 구조물 보수, 보강"으로 2004년 8월에 건설교통부 제417호 신기술로 지정되었다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 2002년도 중소기업 기술혁신개발사업의 "과제명-비할로겐계 난연제를 이용한 난연 섬유보강 에폭시판넬 개발" 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. www.keunhyong.com.
2. C. S. Park and W. W. Jung, *Rubber Technology*, 1(1), 114(2000).
3. C. A. May, Epoxy Resins, Marcel Dekker INC., 1988.
4. 金博允譯, 에폭시 樹脂, 大光書林, 66 (1994).