

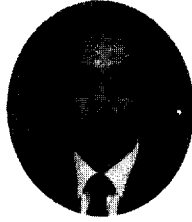


콘크리트 구조물의 보수·보강기법

철근 콘크리트 보수·보강 재료 및 공법 Repair and Rehabilitation of Concrete Structures



최 완 철*



연 규 석**



홍 영 균***

〈편집자 주〉

최근 30년간 고속 경제성장과 더불어 실로 엄청난 물량의 콘크리트 구조물이 국내에 건설되었다. 그 중의 일부는 정기적인 안전점검 미비, 시공불량, 설계미숙 등으로 내하력 저하가 의심되는 경우를 종종 접하게 되어 막대한 국가 경제적 손실 및 콘크리트 구조물에 대한 신뢰성 저하를 초래하였다.

콘크리트 구조물은 시간이 경과함에 따라 여러가지 환경적, 물리적 요인에 의하여 균열이 발생하고 철근이 부식하는 등 성능저하 현상을 초래하게 된다. 따라서 구조물의 요구된 수명을 충분히 유지하기 위해서는 정기적이고 정확한 안전진단이 선행되어야 하며 성능저하가 발생되었거나 발생될 가능성이 있는 부분에 대해서 적절한 보수·보강 대책을 실시하여야 한다.

선진 각국에서는 노후화된 콘크리트 구조물의 보수·보강에 건설비의 상당부분이 투입되어 콘크리트 구조물의 수명 연장과 신뢰성 확보에 중요성을 강조하고 있다. 이제 국내의 학계와 업계에서도 콘크리트 구조물의 보수·보강에 대한 설계와 시공의 고급화된 기술력 요구가 점차로 증대되어가고 있다. 따라서 본 특집기사는 국내외 보수·보강의 현주소, 해외의 개발현황, 그리고 국내외 연구동향에 관하여 기술하였다. 특히 콘크리트 구조물의 내하력 개선에 중점을 두었다. 본 특집기사가 실무 기술자들에게 많은 도움이 되길 바라며 바쁘신 중에도 원고를 준비하여 주신 분들께 감사드린다.

(특집주간 : 동이건설산업(주) 기술연구소 책임연구원 정원기)

* 정회원, 숭실대학교 건축공학과 부교수

** 정회원, 강원대학교 농공학과 교수

*** 정회원, 홍익대학교 건축학과 조교수

1. 머리말

콘크리트 구조물은 사용 기간 동안에 수축 팽창, 진동, 과다하중, 성능저하 등 여러가지 요인으로 인하여 손상을 입게 된다. 구조체의 손상은 구조물의 균열, 과다한 처짐, 강도저하 등으로부터 내구성, 안전성, 미관, 기능상실등 구조성능 및 사용성상의 문제를 야기시킨다.

현재 국내에서는 보수·보강에 관련된 공사비가 급격히 증가하는 추세에 있다. 우리나라의 건설 실정과 유사한 이웃 일본에서는 이미 총 건설 공사비의 30% 정도가 보수·보강에 사용되고 있는 실정이며, 미국 통계에서는 최근 19년간 보수·보강, 유지관리에 소모된 비용은 약 3.3조 달러에 이르렀고 이러한 비용은 무역수지 다음으로 미국이 고민하는 크나큰 결손비용이다. 이와같이 구조물 보수 및 유지 관리에 들어가는 비용이 엄청난 수준임에도 불구하고 보수·보강된 구조물이 사용기간 중에 제대로 성능을 발휘하지 못함으로 인하여 문제의 심각성이 있다. 이러한 배경에서 볼 때 보수·보강 재료 및 공법의 개발은 이러한 사회간접자본을 보호하여 사용성을 연장시켜 줄 뿐만 아니라 보수·보강 구조물에 대한 불신을 해

소시켜 공공시설에 대한 안전이라는 신뢰성을 확보할 수 있다는 공공성 차원에서 볼때 극히 중요하다.

일반적으로 보수(repair)란 손상된 콘크리트 구조물의 내구성, 안전성, 미관 등 내하력 이외의 기능을 회복시킴을 목적으로 하는 것이며, 보강(rehabilitation)이란 손상에 의해 저하된 콘크리트 구조물의 내력을 회복시킴을 목적으로 하는 것으로 정의된다.

보수설계는 손상된 구조물의 기능회복을 목적으로 적절한 재료 및 공법을 선정하는 것이 바람직하다. 보수설계에 있어서는 안전진단 결과에 따라 보수의 범위 및 규모를 설정하여야 한다. 손상 원인, 발생상황, 구조물의 중요도, 환경조건 등을 파악하여야 하며 보수 목적 및 회복목표를 정한 후 재료와 공법을 선택하여야 한다.

구조물의 안전진단 결과 보수만으로 강도와 내구성 및 사용성을 확보할 수 없다면 적절한 재료와 공법으로 보강을 하여야 한다. 이때는 손상의 원인, 재하조건, 보강의 범위와 규모, 안전성, 경제성, 관리의 용이성 등을 고려하여 한다.

본 기사에서는 보수·보강 재료 및 공법에 관한 기술적인 사항을 간략히 서술하며 국내 최근 연구결과와 관련하여 활용방향을 제시하고자 한다. 특히 보수·보강 구조물의 장기성능, 즉 내구성이 중요하며 이와 관련하여 보수·보강 시스템 개념에 근거한 접근방향을 논의한다.

2. 보수·보강 시스템

시스템이란 각 요소가 어떤 형태로 서로 상관관계되어 작용하는 그룹을 지칭하며 각 요소는 주어진 입력에 대해 각각 다르게 반응하여 다른 형태로 출력하게 된다.

콘크리트 구조물이 손상을 받아 보수를 하게 될 때 성공적으로 수행하기 위해서는 그 문제에 관련된 제반 요소로 구성된 시스템을 이해 할 수 있어야 한다. 예컨대 하나의 보수재료의 선정은 장기성능을 우선 크게 차이나게 할 것이며 그의 시공법, 즉 표면처리법, 시공의 난이성, 검사법에 이르기까지 각 단계마다 다른 형태를 나타낸다.

보수 콘크리트의 내구성 특성을 논함에 있어서 보수재의 내구성과 보수된 구조물의 내구성을 구분하여 인식하여야 한다. 보수 구조물의 내구성 확보에 실패하는 경우로서 가끔 보수재의 내구성에 대해서만 관심을 쓰고 대신에 전 구조물 성능에 대한 영향, 즉 보수 시스템의 내구성을 소홀하게 다룸으로서 발생한다. 보수재의 내구성 뿐만 아니라 내구성 높은 보수 구조물이 되도록 설계, 시공하여야 한다.

또한, 보수시스템의 중요성은 기존 구조물과 보수재 사이의 물리적, 화학적, 전기 화학적, 그리고 체적 변화로 부터 일치여부를 평가하는 적합성(Compatibility)에 있다. 즉 보수시스템에서 적합성이 높을수록 보수 구조물을 사용환경 내에서 체적변화에 의한 응력을 견딜 수 있고 화학적 또는 전기 화학적 영향으로 부터 침해나 성능이 저하되지 않음을 말한다. 보수·보강 설계시에 이러한 적합성 인자를 단계별로 검토하여야 한다. 체적변화가 보수 콘크리트의 중요현상의 하나로 체적변화에 대한 적합성은 콘크리트 보수에 있어서 중요한 문제가 되며, 보수재와 모재사이의 체적변화 적합성이 낮을때 균열이 발생한다. 즉 이러한 체적변화로 부터 발생하는 균열에 대한 대책을 논의할 때, 먼저 채택한 보수 시스템의 인장변형 능력을 알아야 한다.

따라서 보수·보강시 재료선정에서 부터 공법 선정에 이르기까지 하나의 시스템개념이 중요하며 이로부터 장기성능, 내구성이 확보되고 소위 보수된 구조물을 다시 보수하게되는 사례를 줄일 수 있는 총체적 접근이 필요하다.

3. 보수재료

보수재료는 여러가지 조건을 만족하는 것이어야 한다. 보수대상이 되는 콘크리트 구조물 표면에 대한 부착력이 우수할 것이며 균열의 크기에 적합한 점도를 가져야 하며 완전 주입이 가능하여야 한다. 또한 보수 후 콘크리트 내부에서 열화 분해하지 않아야 하며 경화시 수축성이 주요하며 집착성능, 내후성이 우수하여야 한다.

보수에 사용되는 재료를 표 1에 나타내고 있다.

보수재료는 무기계 및 유기계로 구분될 수 있으며 근년에는 고분자 재료의 발달에 따라 유기계의 보수재료가 많이 사용되고 있으며, 이러한 유기계 재료들은 폴리머 자체 또는 페이스트나 모르타르의 형태로 이용된다.

표 1 보수재료의 종류

분 류	성 분
무	무수규산 소다 벤토나이트 석고
기	보통 시멘트 팽창 시멘트 급결 시멘트 초속경 시멘트
계	시멘트
시멘트	고무라텍스 아크리로트릴 부타젠 러버 클로로프렌 러버(네오프렌)
	에멀전 초산 비닐계 및 그 공중합체, 폴리아크릴산 에스터 및 그 공중합체
	수용성 메틸셀룰로오스 폴리비닐 알콜
유	에폭시 폴리에스터 폴리우레탄 아크릴 아미이드 타르에폭시 타르우레탄
기	반응경화형
체	탄성 시일(seal)재 폴리살화이드(치오콜) 폴리우레탄 실리콘 부틸고무 아크릴 고무
	역청질 아스팔트 고무 아스팔트 핏치

수지계 결합재 : 보수에 사용되는 수지계 결합재는 여러가지 액상수지에 중질 탄산칼슘, 미립 실리카 등의 미립 충전재, 세팔재 및 조골재를 첨가하여 페이스트, 모르타, 콘크리트의 형태로 사용된다. 이러한 재료는 내약품성이 뛰어나고, 접착성이 우수하며, 경화시간을 광범위하게 조절할 수 있는 등의 장점이 있다. 반면에 내화성과 내열성이 부족하고 경화시 수축이 크다는 단점도 있다. 따라서 이들 특성을 고려하여 사용조건에 따

라 적절한 수지를 선택해야 한다.

일반적으로 널리 사용되고 있는 수지계 결합재의 종류별 성능은 표 2와 같다. 이들은 경화제의 종류 및 조합방법에 따라 혼합물의 점도, 가사시간, 경화시간 등이 달라지며, 경화물의 성능도 크게 다르게 나타난다. 따라서 사용하는 목적, 공법 및 작업현장의 조건 등을 감안하여 선택하여야 한다.

표 2 수지의 종류와 성능과의 관계

수지	에폭시계	폴리에스터계	폴리우레탄계	고무·아스팔트계
성능				
접착성	◎	○	○	△
가요성	△	△	◎	○
내구성	◎	○	○	×
내수성	◎	○	○	△
내알칼리성	◎	×	○	△
수축성	무	대	소	대
작업성	○	○	○	◎
경제성	△	○	○	◎

◎ : 우수 ○ : 양호 △ : 가 × : 불량

또한 물리 역학적 성능의 향상을 위하여 각종 첨가재료를 혼입하는 경우가 많다.

수지계 결합재의 점도는 대체적으로 온도에 따라 크게 변화하나 제조시 점도의 조절이 가능하다.

수지의 유동성이 유지되는 시간 즉 가사시간은 작업성과 밀접한 관계를 가진다. 일반적으로 가사시간이 길면 초기강도의 발현이 늦어지며 온도가 높아지면 화학반응이 빨라지므로 가사시간은 단축된다.

에폭시나 불포화 폴리에스터 수지는 250℃를 전후로 하여 소량의 가스를 발생하면서 분해하며 400℃정도에서 수지의 2~5%가 가스로 된다. 에폭시나 불포화 폴리에스터 수지의 내열온도는 강도 등의 기계적 성능을 고려하여 70℃ 정도가 적당한 것으로 알려져 있다.

폴리머계 혼화재 : 폴리머계 시멘트 혼화재는 크게 수성 폴리머 디스퍼션과 수용성 폴리머로 나눌 수 있다. 현재 많이 사용되고 있는 것은 스틸렌 부타젠고무(SBR) 라텍스, 폴리아크릴산 에스터

(PAE) 에멀전, 폴리산 비닐(PVAC) 에멀전 등의 수성 폴리머 디스퍼션이 있다.

폴리머계 혼화제는 시멘트와 함께 사용되기 때문에, 균열폭이 0.2mm 이상으로서 비교적 큰 균열에 사용되며 미세한 균열에는 적용이 곤란하다. 그리고 이러한 재료들은 습윤면에 대한 접착력은 크지만, 건조면에 대해서는 드라이아웃에 의한 박리가 일어날 수 있으므로 주의해야 한다.

또한, 이 재료는 방청처리제, 단면복구제, 표면피복재로써 사용되는 경우가 가장 많으며, 요구되는 성능은 보수·보강용 주입 그라우트에서 요구되는 것과 거의 동일하다.

폴리머 혼화제를 사용한 폴리머 시멘트 모르타르는 보통 시멘트 모르타르에 비해 몇가지 장점을 가지고 있다. 먼저 휨인장강도와 신장능력이 크며 따라서 건조수축이 작다. 방수성이 좋으며 동결융해 저항성이 크며 콘크리트, 모르타, 강재 등에 대한 접착력이 좋고 내충격성, 내마모성이 크다. 이러한 장점이 있으므로 재료가 고가임에도 불구하고, 최근 많이 보급되고 있는 실정이다.

최근 국내연구에 의하면 폴리머계, 폴리머-시멘트계, 시멘트계 보수재(표 3 참조)를 보수하여 휨 성능을 평가한 결과, 내력이 보수값이나 위치에 관계없이 충분히 확보되며 보수재로서 우수한 것으로 나타났다. 이에 비해 보수재가 아닌 보통시멘트 페이스트로 보수한 경우 내력이 상당량 떨어지고 보수재로서 사용이 타당치 못한 것으로 나타났으며 이는 적은 부위의 보수에도 적합한 보수재를 사용하여야 할 것으로 판단되었다. 보수재와 콘크리트 모재사이의 계면파괴가 큰 변형시 발생하였으며 보수후 보강시에 이러한 계면파괴로부터 내력이 다소 낮아진다. 모재와 보수재의 부착력이 종국적으로 보수시스템의 내력을 결정하는 것으로 보여졌다.(사진 1 참조)

표 3 보수재의 구분 및 시공방식

계 열	상 품 명	시공 방식
폴리머계	EPOXY(T사)	주입
	POLYESTER(A사)	주입
폴리머-시멘트계	LATEX(S사)	주입
	PREMIX(S사)	PATCH
시멘트계	GROUT(S사)	주입
	급결제(S사)	PATCH

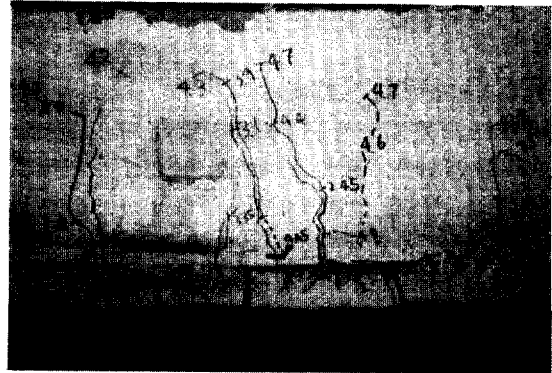


사진 1 인장측 폴리에스터 보수 시험체의 계면파괴

4. 보수공법

4.1 표면처리공법

균열의 성장이 정지된 상태에서는 단순히 표면처리 하여 보수할 수 있다. 즉, 균열선을 따라 폭 50~100 mm 를 와이어 브러쉬로 닦아 낸 후 폴리머 시멘트 페이스트나 모르타(두께 약 2mm 정도)로 균일하게 도포한다. 이때 사용되는 폴리머는 부착성·방수성은 물론 어느 정도의 가요성을 가진 디스퍼션이 적합하다.

콘크리트 표면에 미세한 균열(0.3mm)이 많이 있는 경우도 같은 방법으로 폴리머 시멘트 페이스트나 모르타를 도포하는 경우가 있으나, 재료를 기계로 분무하여 보수하는 방법도 있다. 분무보수는 균열이 진행되지 않는 경우에 시공하는 것이 원칙이다.

균열의 성장이 진행될 때 경화 후의 재질이 단단한 폴리머 시멘트 페이스트나 모르타로 보수를 하면, 보수 부위에 다시 균열이 발생하므로 변형성, 신장성이 큰 재료를 사용하여야 한다.

즉 균열면을 와이어 브러쉬로 완전히 청소한 후, 균열선을 중심으로 폭 10~15 mm 테이프를 부착하고, 테이프를 중심으로 폭 30~50 mm, 두께 2~4 mm로 시일재를 도포하여 바닥의 변형을 이 테이프 사이에서 흡수할 수 있도록 한다.

4.2 주입공법

주입공법에는 주로 에폭시 수지가 사용되며, 종래에는 수동식 기계주입방법이 많이 이용되었다. 이러한 방법은 주입량을 파악할 수 없으며 관통하지 않는 균열은 구석까지 재료를 주입하기가 곤란하다. 또한 주입압력이 너무 높으면 균열을 넓혀주는 등의 문제점이 있으므로 저압저속의 주입공법을 택해야 된다.

저압저속 주입공법은 주입량 파악이 쉬우며 균열 구성까지 주입할 수 있는 특징이 있으나, 주입기에 주입재료가 남아서 재료손실이 많아지는 경우가 있다.

에폭시 수지 주입공법을 적용할 때는 충분한 가사시간과 균열폭에 적합한 점도를 가진 재료를 선정하는 것이 중요하다. 점도는 용재를 넣어 조절할 수 있지만 과다하면 접착력이 저하되므로 주의해야 한다.

진행중인 균열의 경우 변형성이 작은 에폭시 수지(일반적으로 2% 정도)를 사용하면 보수한 균열 부근에 새로운 균열이 발생하는 경우가 많다. 따라서 이와 같은 경우에는 가요성의 에폭시 수지를 사용하거나 충전공법을 사용할 필요가 있다.

에폭시 수지 주입공법과 스테인레스 핀을 병행 사용하여 균열부의 일체성을 높임으로써 온도 변화에 의한 균열의 움직임을 적게 하는 방법도 있다.

4.3 충전공법

비교적 큰 폭의 균열(0.5mm) 보수에 적합한 공법으로 균열선을 따라 콘크리트를 제거하고 이 부분에 보수재를 충전하는 방법이다. 이 공법은 철근의 부식여부에 따라 보수방법을 달리 하여야 한다.

철근이 부식하지 않은 경우에는 균열선을 따라 약 10mm 폭으로 콘크리트를 U형 또는 V형으로 절단한 후, 절단부분에 폴리머 모르타르나 폴리머 시멘트 모르타르를 충전한다. U형으로 절단 방법은 균열선을 중심으로 양쪽에 커터로 흠을 낸 후 그 사이의 콘크리트를 제거하는 것이며 V형 절단 방법

은 원추형의 다이아몬드 조각을 진동드릴 끝에 장착하여 균열선을 따라 제거하는 방법이다. V형으로 절단하는 방법은 간단하지만 폴리머 시멘트 모르타르로 충전하는 경우는 박리현상이 일어나기 쉬우므로 U형 절단방법을 사용하는 것이 바람직하다.

철근이 부식된 경우에는 철근이 녹슬면서 부식된 부분을 제거하고 철근에 방청처리를 한 후 폴리머 모르타르나 폴리머 시멘트 모르타르로 충전한다. 이 방법은 철근이 부식된 철근 콘크리트 구조물의 내구성 회복을 목적으로 한 것으로서 여러가지 공법이 개발되어 있다. 주된 것으로는 보수재료를 사용하여 물리적으로 부식을 방지하는 방법과 콘크리트에 알칼리성을 갖게 하여 화학적으로 부식을 억제하는 방법 및 상기 두가지 방법을 조합한 방법이 있다.

균열의 진행이 없는 경우에는 균열선을 따라 약 10mm를 한번으로 하는 정삼각형(V형)으로 절단하여 완전히 제거한 후 겔 상태의 에폭시 수지를 주입한다. 겔 상태의 에폭시 수지란 중량비로 에폭시 수지 1에 대해 규석분 2.5~3.5를 혼합 교반한 것이다. 바닥 슬래브의 경우는 V형으로 절단한 후 저점도 에폭시 수지를 주입하여 충전한다.

균열이 진행되는 경우에는 변형력, 신장력이 큰 재료가 유리하며, 재료로서는 겔 상태의 에폭시 수지 대신에 탄성 접착제를 사용한다. 이 경우 V형으로 절단된 면에 에폭시 수지를 프라이머로 도포하면 접착력을 향상시킬 수 있다.

누수 또는 용출수가 있는 경우에는 보수에 의해 물을 차단하면 수압 때문에 보수한 부근에서 누수가 되므로 도수관을 설치하여 자연도수가 되도록 하여야 한다.

균열선을 따라 V형으로 절단하여 절단부 구석에 투수성 스폰지, 집수용 파이프와 도수용 호스를 장진하고, 급결성 시멘트 모르타르로 임시 막아 놓은 다음 몇 군데 설치된 파이프를 한 곳으로 모아 배수시킴으로써 균열부에서의 누수와 용수를 방지하여야 한다.

임시용 급결성 시멘트 모르타르는 장기간의 수압에 견디지 못하므로 외부에 습윤용 프라이머를 도포한 다음 에폭시 폴리머 모르타르로 보완해 주어야

한다.

4.4 치환 공법

교량에서 가장 손상을 받기 쉬운 철근 콘크리트 상판의 보수에 자주 사용되는 공법이다. 상판 전체에 파손이 심한 경우는 파손된 상판을 철거하고 새로 치환하는 방법이 사용된다. 보수 후의 내하력을 확실히 기대할 수 있으며, 공사비도 그다지 높지 않아 권장할 만하다. 단지, 장기간에 걸쳐 전면적으로 교통통제를 해야 하는 점이 문제라 할 수 있다.

상판이 부분적으로 파손된 경우는 파손 부위만을 제거하여 새로운 콘크리트로 치환하는 방법이며, 이 경우는 전면적으로 교통통제를 하지 않고도 시공이 가능하다.

부분적인 치환인 경우에는 신·구 콘크리트가 일체화 되도록 접착제를 충분히 도포 하는 등 연결부 처리에 신중을 기하여야 한다.

어느 경우에도 치환부분에는 가능한 한 조강성이 높으며 건조수축이 작고, 부착성이 좋은 보수 재료를 사용해야 한다.

4.5 기타 공법

콘크리트 표면부가 전반적으로 노후되어 있거나 0.2mm 정도 이하의 미세한 균열을 갖는 경우 침투성 방수제 도포공법이 적용되며, 균열폭이 큰 경우는 부적당하다. 근년에 이르러 우리나라에서 널리 이용되고 있는 보수공법 중의 하나이다.

콘크리트속의 염화물에 의해 철근이 부식하고, 이에 의해 균열이 발생한 경우의 보수는 충전공법에서 제시된 “철근이 부식된 경우의 균열 보수”와 같은 방법으로 한다.

콘크리트속의 염화물이 바다모래의 사용 정도에 의한 경우는 균열부분을 전술한 방법에 따라 보수한 후 콘크리트 표면에 폴리머 라이닝을 하여 철근부식의 원인인 물과 산소를 차단시키도록 한다. 염화물이 대량으로 콘크리트속에 들어 있는 경우는 철근 반대쪽까지 콘크리트를 제거하고 충전공법으로 보수해야 하며, 표면부를 폴리머로 라

이닝 할 필요도 있다.

반응성 골재에 의한 균열은 일반적으로 진행성이며 특히 보강 철근량이 적은 경우는 균열폭을 크게 하는 특징이 있다. 이러한 균열의 보수방법으로서는 가용성 에폭시 수지의 주입 및 방수효과가 있는 도포재를 도포하여 외부로부터의 수분침입을 막는 방법이 있다.

5. 보강공법

5.1 개요

철근 콘크리트 구조물을 보강해야 하는 경우는 건물의 계획, 설계 및 시공과정에서 본래 건축물의 설계 목표를 달성하지 못한 경우와 건물의 사용 기간중에 초기의 설계에서 예견하지 못한 용도 변경, 과다하중의 작용 및 환경 변화등에 의해 구조 시스템이 전반적으로 불안정해지거나 일부 부재의 구조 내력을 향상시켜야 하는 경우로 구분할 수 있다. 전자, 즉 설계 실수 또는 시공 실수에 의해 구조 내력이 부족한 경우에는 비교적 간단한 방법으로 추가로 필요한 구조내력을 산출하여 이에 따른 보강공법을 선정하고 적절한 보강 설계를 수행할 수 있다. 반면, 후자 즉 사용환경의 변화에 의한 경우에는 기존 구조물의 실제 내력을 산출하기 위해 실제의 재료 강도, 하중 조건, 부재 치수 및 구조 형식을 고려하여 구조해석을 선행해야 하며 이에 따라 추가로 필요한 구조내력을 산출하거나 또는 새로운 구조 시스템을 도입하여야 한다.

철근 콘크리트 구조물을 보강하는 방법은 구조 시스템을 변경하여 구조 안전성을 회복하거나 단위 구조 부재에 작용하는 하중의 영향을 감소시키는 구조 시스템 변경 방법과 기존 구조 시스템에서 내력이 부족한 단위 구조부재의 내력을 증가시키는 부재보강 방법으로 구별할 수 있다.

구조 시스템 변경 방법에는 새로운 부재 즉 보나 기둥 또는 가새를 설치하는 경우와 프리스트레싱을 도입하는 경우로 구별할 수 있다. 부재보강 방법에는 콘크리트 증타설, 강판 공법, 탄소 섬유 쉬트 공법 및 섬유 보강판 공법등이 사용되고 있다. 이 기사에서는 부재의 구조내력을 증가시키는

부재보강 방법을 중점적으로 기술하고자 한다.

5.2 강판공법

강판공법은 콘크리트면에 강판을 접착시켜 기존의 콘크리트와 강판을 일체화시키는 방법이다. 이때 강판의 역할은 콘크리트 부재에서 철근이 하는 역할과 같다. 그러므로 보강설계시 기존부재의 철근비를 검토하여 추가강판의 폭 및 두께를 제한해야 한다. 이는 압축콘크리트의 취성과괴를 방지하기 위한 필수적인 사항으로서 일반적인 콘크리트 슬래브 또는 콘크리트보에서는 기존부재의 최대 철근비에 따라 추가로 제공할 수 있는 내력의 상한값이 결정된다.

연속보 또는 골조시스템에 의해 모멘트 재분배가 허용되는 경우에는 이러한 모멘트 재분배를 이용하여 단부와 중앙부의 추가내력을 조절할 수 있다. 그러나 어떠한 경우에도 강판을 접착함으로써 그 단면에서 최대철근비가 초과되어서는 안된다.

강판을 기존 콘크리트에 일체화시키는 방법은 앵커를 사용하거나 에폭시를 사용하는 방법이 있다. 앵커를 사용하는 앵커공법에서는 철골보에서 전단연결재(Shear Connector)를 산정하는 계산식에 따라 앵커의 지름, 깊이 그리고 간격을 결정해야 한다. 그러나 철골보의 전단 연결재와는 달리 앵커 공법에서의 앵커는 기존 콘크리트부재의 폭과 높이가 한정되어 있으므로 이에 대한 검토가 필요하다. 일반적으로 강판공법에서 앵커는 임시 가설용으로 주로 사용되며 앵커만으로 강판을 접착시키는 강판앵커공법은 사용되지 않고 있다.

에폭시를 사용하여 강판과 콘크리트를 일체화시키는 방법은 에폭시 사용방법에 따라 압착공법과 주입공법으로 구분한다. 그러나 이는 단지 사용방법만의 문제가 아니라 이에 따라 적절한 에폭시를 선택해야 한다. 강판압착공법과 강판주입공법에 대한 설명은 다음과 같다.

(1) 강판압착공법

이 공법은 콘크리트면 및 강판 접착면에 에폭시 수지를 각각 1~2 mm 정도 균일하게 도포하고 미리 콘크리트면에 고정시킨 앵커볼트 등에 의해 강판을 콘크리트면에 압착하는 공법이다. 이 경우

에폭시 수지의 일부를 압착하여 밀어냄과 동시에 접착면 및 수지에 포함된 기포를 제거하면서 시공한다.

이 공법은 주로 콘크리트면이 평평하여 요철이 없고 콘크리트면에 압착용 앵커볼트를 고정할 수 있거나 또는 잭 등으로 압착할 수 있는 곳에 적용된다. 부분적으로 요철이 있는 경우는 켈 형태의 에폭시 수지를 사용하여 평평하게 하고 그라인더 등으로 깎아서 마무리 한 다음 시공토록 한다.

압착력은 보통 5 t/m^2 으로서 이는 잉여수지가 공극을 완전히 채우고 유출되어 최종 접착층의 두께가 0.3mm 정도가 되는 경우를 목표로 정한 것이다. 따라서 점도가 높은 상태의 접착제를 사용하는 경우에는 이 압착력에 대해 재검토할 필요가 있으며 이 때는 앵커강도도 확인되어야 한다.

또한, 강판 자체에 변형이 있을 경우 압착시 무리하게 콘크리트면에 접착시키는 것은 압착 지지대를 철거시킬 때 강판이 원래 상태로 전환하려고 하는 응력에 의하여 박리현상이 발생할 가능성이 있기 때문에 주의를 요한다. 실제 공사 현장에서는 대부분 휨 부재에 처짐이 발생한 상태이므로 이 공법을 적용하기가 부적절한 경우가 대부분이다.

(2) 강판주입공법

이 공법은 콘크리트면과 강판면 사이에 스페이서 등으로 2~6 mm 정도 간격을 유지시킨 상태에서 주변을 실링하여 한 쪽 방향에서 점도가 낮은 에폭시 수지를 주입하여 접착하는 공법이다.

이 공법은 콘크리트면이 평탄하지 않을 경우라든가 일부분 또는 전면이 곡면으로 된 경우 강판을 접착하는데 적용된다. 그러나 이 공법은 강판과 콘크리트 사이에 약간의 기포가 존재할 수 있으며 또한 주입 작업에 시간이 소요된다는 단점이 있다. 그럼에도 불구하고 현재 강판공법 적용시에는 이 공법을 대부분 사용하므로 보강 공사 과정에서 시공관리와 보강공사후의 품질시험을 철저히 관리할 필요가 있다. 이 공법 적용시의 전 처리 과정과 시공 과정에 대한 내용은 다음과 같다.

① 철근위치 조사

강판주입공법은, 압착공법과 달리 앵커의 인발력을 직접 필요로 하지 않으나, 시공시에 강판의

자중을 받아야할 필요가 있다. 일반적으로는 기존 콘크리트에 강관을 접착시킬 경우, 앵커는 철근의 피복두께 범위내에서 처리하는 것이 원칙이므로 특별히 조사할 필요는 없다. 그러나 프리스트레스트 콘크리트 구조물의 경우는 철저히 철근과 프리스트레싱 강재등의 위치를 조사하여 프리스트레스트 등에 불리한 영향이 발생하지 않도록 고려하여야 한다.

② 콘크리트면 처리

콘크리트의 접착면에 부착된 분진, 유지분등은 에폭시 수지에 의한 콘크리트와 강관의 접착효과를 현저히 저하시킨다. 그러므로 이러한 유해물질등은 깨끗이 청소하여야 한다. 또한 중성화등의 불량 콘크리트 부위는 햄머드릴 등으로 양호한 콘크리트가 나타날 때까지 파취 제거후 에폭시 퍼티등으로 보수한 후 다음 공정에 들어가야 한다.

③ 강관표면의 처리

콘크리트면과 접착되는 강관의 접착면은 숏 브ラスト 처리후 즉시 접착표면의 방청처리를 시행하여야 한다. 강관접착면의 방청은 접착효과를 현저히 저하시킴으로, 강관의 접착면은 숏 브ラスト 처리 즉시 프라이머를 도포하여 방청처리를 하도록 한다.

④ 강관가공

강관의 앵커용 천공 및 용접부분은 원칙적으로는 가공공장에서 처리하는 것으로 한다. 천공위치는 현장조립으로 치수를 조정, 현장에서 천공위치의 수정등이 없도록 하여야 한다. 강관의 천공경은, 현장 가설시 작업성을 고려하여 앵커지름보다 5~10m/m 정도 크게 뚫는 것이 좋다. 한편 현장에서 강관 가설시에는 워셔(washer)를 사용한 앵커로 강관을 확실히 고정시켜야 한다. 강관중량을 계산하여 기본 앵커설계후 추가 앵커는 주입압에 의한 강관의 처짐 및 들뜸방지용 인발력 정도면 설계상 충분하다.

⑤ 접착면의 공극

콘크리트면과 강관의 공극은 2~4mm로 설정하고 스페이서(간격재)를 삽입하여 간격을 일정하게 유지시켜야 한다.

⑥ 주입 파이프및 공기 배출구 설치

강관면에 설치되는 주입 파이프 간격은 원칙적

으로 50~100cm 간격으로 설정한다. 강관이 박판일 경우 100cm이상의 간격으로 주입공을 설치하면 주입압에 의하여 강관이 휘거나 들뜸우려가 있으므로 주의하여야 한다.

⑦ 실링재 처리

실링재는 강관주위 및 앵커 고정부에서 주입압력에 의하여 주입수지가 새어나오지 않도록 시공되어야 한다.

⑧ 주입작업

에폭시 수지 주입시에는 강관 접착면 구석구석까지 면밀하게 주입되도록 주입압력, 공기배출등을 확인하면서 신중히 시공하여야 한다. 주입시의 적정압력은, 에폭시 수지의 점도에 따라 조정되나 허용최고압력은 가설용 앵커의 강도, 간격등에 따라 관계되므로 사전 검토할 필요가 있다.

⑨ 주입확인

주입작업중에는 햄머등으로 강관면을 가볍게 타진하여 주입상황을 확인, 주입이 불완전한 경우에는 즉시 재주입을 시행하여야 한다.

5.3 탄소섬유 슈트 공법

탄소섬유슈트는 고성능 탄소섬유를 종이같은 형태로 제작한 것을 의미하며 힘을 전달하는 방향에 따라 1방향슈트와 2방향슈트로 구분된다. 탄소섬유 자체가 강관에 비해 초고강도이며, 탄성계수도 철과 동등하거나 또는 3~4배 이상의 높은 성질을 보유할 수 있다.

강관공법과 비교하여 재료 자체는 고가이나 시공성 및 시공의 신뢰성을 고려할 때 향후 사용이 증가할 것으로 예상된다. 이 기사에서는 탄소섬유 슈트공법에 필요한 재료 및 시공을 위주로 소개하며 보강설계 및 국내 수행 실험 연구는 참고문헌 3, 6, 7 및 8을 참조하기 바란다.

(1) 재료

이 공법에서 사용하는 재료는 탄소섬유슈트 자체와 이를 기존 콘크리트면에 접착시키는 에폭시 수지가 있다. 이러한 재료들은 탄소섬유슈트를 개발한 회사에서 자사의 탄소섬유슈트에 적합한 프라이머및 접착제를 동시에 제공하고 있다. 그러므로 탄소섬유슈트공법을 사용할 경우에는 탄소섬

유쉬트 제작회사의 특성에 맞는 그회사의 제품을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

탄소섬유쉬트는 1방향으로 제작하는 도넨사 제품과 2방향으로 제작하는 도레이 및 미쓰비시사 제품이 있다. 일본 및 국내 연구진에 의해 구조보강 실험이 수행되었던 도넨사 제품인 일방향 탄소섬유쉬트 Forca Tow Sheet(FTS)의 재료성질은 다음 표 4와 같다.

표 4 탄소섬유쉬트의 성질

품 목	FTS-C1-20	FTS-C1-30	FTS-C5-30
섬유종류	중탄성 CF	중탄성 CF	고탄성 CF
섬유중량 g/m ²	200	300	300
쉬트치수 Wcm×Lm	500×100	500×100	500×100
표준시공두께 ⁽¹⁾ (mm)	0.45	0.60	0.60
설계-두께 ⁽²⁾ (mm)	0.110	0.165	0.165
인장강도 ⁽³⁾ (kg/cm폭) (설계강도 kg/cm ²)	390 (35,500)	590 (35,500)	500 (30,000)
인장강성 (kg/cm폭) (설계 탄성률, kg/cm ²)	25,900 (2.35×10 ⁶)	38,800 (2.35×10 ⁶)	62,700 (3.80×10 ⁶)
파탄시탄성률(%)	1.5	1.5	0.8

(2) 시공

탄소섬유쉬트공법의 시공과정은 다음과 같다.

① 열화층 제거

부착 콘크리트 표면의 열화층(풍화, 레이턴스, 박리 모르타, 페인트, 오염 물질)을 완전히 제거한다. 연마에 의한 미립분은 압축공기로 제거하고 만약 물로 청소하는 경우는 충분히 건조시키도록 한다.

② 철근방청처리

철근이 노출이 있는 경우에는 방청처리를 하고 콘크리트 강도 이상의 폴리머 모르타 또는 폴리머 시멘트 모르타로 완전 복구시킨다. 그리고 균열 부위에는 에폭시 수지를 주입하여 보수하고 표면의 평활도가 1 mm 이내가 되도록 마감처리한다.

③ 모서리 마감

부재의 면이 만나는 모서리의 경우에는 반경 10mm 이상이 되도록 모서리 부분을 마감처리하여야 한다.

④ 프라이머 도포

프라이머의 주재와 경화제는 정해진 비율에 따라 약 2 분간 잘 혼합한다. 이때 진동 믹서를 이용하는 것이 유리하며 1회의 혼합량은 시공 가능한 양 만큼만 한다. 필요한 경우에는 2회 도포하고 3 시간~12시간 정도 경화시킨다.

⑤ 탄소섬유쉬트 접착

탄소섬유 쉬트를 절단하고 ①의 방법에 의해 수지를 도포한 후 탄소섬유 쉬트를 부착시킨다. 부착 후 30분 이상 경화시켜야 하며 들뜰 때는 롤러로 다시 압착시킨다.

⑥ 탄소섬유쉬트도포

접착수지를 탄소섬유 쉬트 표면에 재도포하는 공정을 반복하여 쉬트층을 증가시킨다.

⑦ 양생 및 마감처리

탄소섬유 쉬트 보강시는 자연 상태에서 24시간 이상 양생시켜야 하고, 설계 강도에 도달하는 데는 평균기온 10℃ 인 경우 2 주일, 평균기온 20℃ 인 경우 1 주일이 소요되며 마감처리는 완전 경화 후 내후성 페인트 또는 특수 미장재료를 이용한다.

(3) 보강설계

허용응력설계법에 의한 보강설계절차는 참고문헌 2에 상세하게 기술되어 있다. 그러나 국내에서는 강도설계법이 주로 사용되므로 이에 대한 보강설계법을 규명하여야 한다. 강도설계법에 의한 탄소섬유쉬트공법의 보강설계는 참고문헌 7, 8에 기술되어 있으며 현재 학회에 제출할 논문을 준비중에 있다.

6. 맺는 말

철근 콘크리트 구조물은 보수 및 보강이 필연적이다. 이러한 보수·보강에 대한 체계적인 학문적 연구가 시급하며 또한 학회가 중심이 된 조직체계를 구성하여 기술적, 법적 지침서를 발행하는 업무가 하루 속히 수행되어야 하리라 생각된다.

참 고 문 헌

1. 한국 콘크리트 학회, “콘크리트 구조물의 평가 및 보수·보강기술” 제1회 한 일 콘크리트학회 공동 세미나, 1994
2. 尹 盛源, “炭素纖維 Sheet 補強工法(技術資料)”, (株) T. S. BOND 建設工業, 1994
3. 최완철 외, “에폭시접착 강판보강 철근콘크리트 보의 역학적 거동에 관한 연구”, 숭실대학교 생산기술 연구소, 1994
4. 김병국 외, “보수·보강 철근콘크리트 보의 휨성능”, 추계 콘크리트학회 학술발표회, 1995
5. 심종성 외, “철근콘크리트 구조물의 보수·보강 신기술 개발”, 건설교통부, 1995.10, pp.123
6. 신영수 외, “탄소섬유쉬트로 밀면 보강된 철근콘크리트 보의 구조적 거동”, 대한건축학회 논문집, 1995.8, pp.249~257
7. 홍영균 외, “양재역 환승 주차빌딩 구조보강 설계 보고서” 홍익대 환경 개발 연구원, 1995. 9
8. 홍 영균 외, “철골철근콘크리트보(SRC)의 탄소섬유쉬트보강효과에 관한 연구” 홍익대 환경개발 연구원, 1995.10
9. T. Sugama, L. E. Kukacka, and W. Horn, “Water-Compatible Polymer Concrete Materials for Use in Rapid Repair Systems for Airport Runways”, Brookhaven National Laboratory Upton, New York, 1981
10. James Warner, “Structural Concrete Repair Methods”, World of Concrete, California, 1988
11. ACI “Concrete Repair and Restoration”, Compilation, No. 5, September, 1980
12. ACI, “Repairs of Concrete Structures-Assessments, Methods and risks”, Seminar Course Manual /SCM-21, 1989
13. ACI, “Repairing Concrete Bridges” Seminar Background Materials, SCM-27, 1993