

노후화된 교량 구조물의 내구성 및 내하력 향상을 위한 보수·보강공사

(리프리트 공법, 탄소섬유시트공법, 외부강선)



권영진*



최준현**



조성현***

1. 서론

모든 구조물은 시간의 경과에 따라 하중조건, 지반조건, 구성재료의 특성, 환경조건, 유지관리의 상태 및 사용용도의 변경 등으로 점진적으로 그 성능은 저하되어간다.

구조물의 성능저하는 구성재료의 물성 및 구조 성능의 저하를 의미하며, 구조물의 설계시 적용되었던 하중조건에 대하여 더 이상 지기할 수 없는 상태가 되므로 사용성과 내구성 및 기능성의 확보적인 측면에서 문제가 발생하게 된다.

따라서, 구조물을 구조물의 내구수명까지 사용 가능하도록 하기 위해서는 구조물의 성능저하 상태에 따라 적절한 시기에 적절한 보수·보강방법으로 내구수명을 확보하여야만 한다.

본고에서 소개할 교량구조물(서대전육교)는 27년간 대전과 대전외곽 주변을 잇는 중요한 교통

로서 그 역할을 다해왔으나, 현재는 교통량의 증가, 2회에 걸친 화재 및 기타 여러가지 성능저하 원인에 의해 DB18로 설계된 본 구조물에 대한 안전성의 문제가 제기되었다.

따라서, 본 보에서는 여러가지 원인에 의해 성능이 저하된 교량 구조물을 성능저하 원인별로 보수·보강한 사례로 소개함으로써 향후 철근 콘크리트 구조물의 보수·보강에 대한 개선방향과 보수·보강공사에 있어서의 제반 문제점을 제시함으로써 앞으로 계속적으로 시행되어질 보수·보강공사의 참고자료로 제시하고자 하였다.

2. 구조물의 이력 및 성능저하 원인

본 교량구조물은 표 1에 나타난 바와같이 RC 슬래브 보와 PC슬래브 보로 이루어진 복합구조로서 1970년 12월에 준공되어 보수·보강공사를

* 정회원, 쌍용엔지니어링(주) 안전기술부 부장·공박

** 정회원, 쌍우안전기술(주), 이사

*** 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과

표 1 본 교량 구조물의 현황

구분	준공년도	경관연수	구조형식	유지관리실태	총교통량	주위환경
내용	1970.12	27년	RC슬래브 보(9경간)와 PC슬래브 보(3경간)의 복합구조	· 설계도서, 시공도면 등의 미보존 · 유지관리 미비	평균 30,000대	· 슬래브 하부에 1층 또는 2층의 주거건물이 1996년 까지 100~200여 가구 존재 · PC기둥로 이루어진 경간 아래로 철도 통행 · 1997년 2회에 걸쳐 화재발생

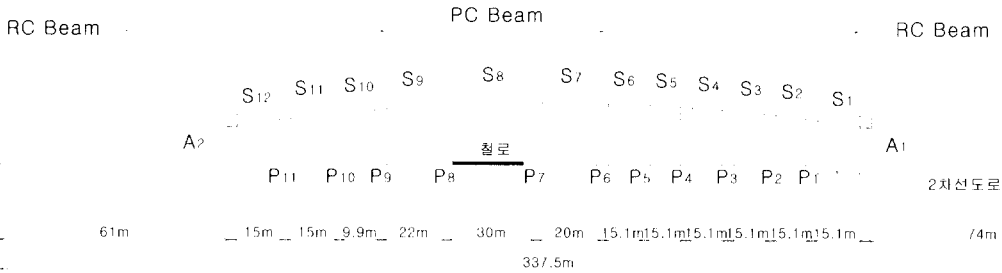


그림 1 서대전 육교 종단면도

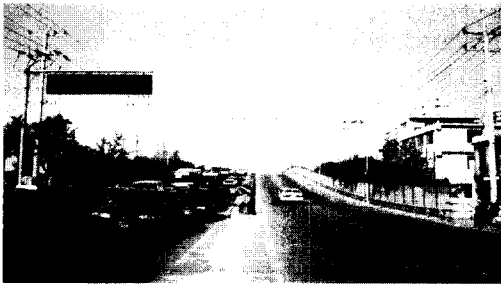


사진 1 본교의 전경

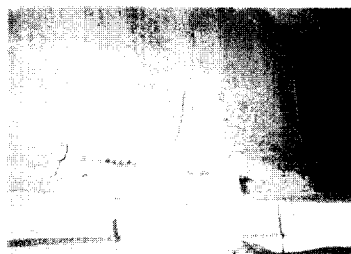
하기 까지 27년간 사용되어 왔으나, 유지관리의 미비로 인해 구조물의 내구성이 현저히 저하된 상태이다.

또한, 2회에 걸친 화재, 난방용 연탄사용에 따른 일산화탄소의 증가에 의해 구조물 전반에 걸쳐 중성화 깊이가 평균 약 3cm로 곳곳에서 철근부식으로 인한 균열 및 박리·박락이 발생되었다.

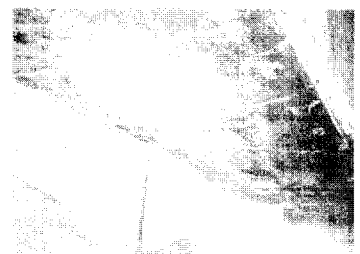
사진 1은 공사전 본교의 전경을 나타낸 것이며, 사진 2는 본교에 나타난 성능저하 상황으로써



a. 슬래브 철근 부식



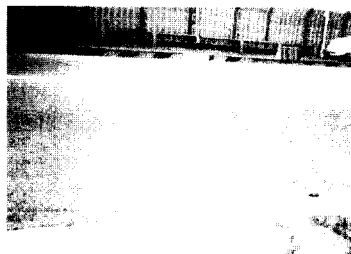
b. 보의 콘크리트 박락



c. 보의 휨균열



d. 교대 Shoe부분 콘크리트 박락



e. 신축이음부의 아스팔트 균열



f. 신축이음부의 콘크리트 박락

사진 2 본 교량 성능저하 상황

표 2 본 교량의 주요 부재별 성능저하 상황·원인 분석 및 보수·보강방안

구 분	성능저하 상황	성능저하 원인	보수·보강 방안	
상부 아스콘	· 신축이음부 균열발생	· 신축이음부를 무시하고 덧씌움 · 계절의 변화, 온도변화 등의 기상작용	· 아스콘 제거 후 재포장 · 신축이음 설치	
슬라브	상부	· 조인트 주변 박락 · 콘크리트 층분리	· 신축이음부 균열로 빗물 유입 · 시공시 콜드조인트 발생	· 콘크리트면 교면방수
	하부	· 조인트 및 배수구 주변를 중심으로 철근부식, 백화, 들뜸·박락 등이 심함 · 여러곳에서 균열 발생	· 신축이음부 균열 · 배수구의 기능 상실(막힘) · 용빙제에 의한 염화물 유입 · 난방용 연탄사용, 화재에 의한 중성화 가속 · 교통량 증가	· 배수구 재설치 · 철근부식 억제 · 중성화 회복(재알칼리화) · 들뜸·박리부 단면복구 · 균열부 U컷팅 후 단면복구
보	RC부	· 백화발생 및 유리석회 유출이 더욱더 심함 · 철근부식 가능성 농후	· 콘크리트 재료분리(하부) · 난방용 연탄사용, 화재에 의한 중성화 가속 · 교통량 증가에 의한 하중증가 및 충격하중 증가	· 중성화 회복(재알칼리화) · 철근부식 억제 · 내하력 증가(탄소섬유부착)
	PC부	· 보하부 휨균열 발생	· 교통량 증가에 의한 하중증가 및 충격하중 증가	· 중성화 회복(재알칼리화) · 내하력 증가(PC강선 설치)
기둥	· 콘크리트 들뜸 · 철근노출	· 외부무게 부족 · 난방용 연탄 및 화재에 의한 중성화 가속	· 철근부식 억제 · 중성화 회복(재알칼리화) · 들뜸·박리부 단면복구	

콘크리트의 성능 저하가 다양하게 보이고 있다. 또한, 아스콘의 재포장시 신축이음부를 무시하고 재포장을 하므로써 사진 2-e와 같이 조인트 부위의 균열이 발생으로 슬라브 하부의 누수 현상을 초래하여 콘크리트의 성능저하를 가속화 시켰다.

본 보고에서는 내구성향상을 목적으로 시행했던 리프리트공법과 내하력향상을 목적으로 수행했던 탄소섬유공법과 PC강선보강공법을 중심으로 서술하였다.

3. 보수·보강공사 플로우 및 개요

표 2는 시대전 육교의 주요 부재별 성능저하 상황에 따른 원인을 분석하고 이에 따른 보수·보강공사 계획을 나타낸 것이다.

성능 저하된 콘크리트 부위의 보수는 리프리트 공법에 의해 콘크리트 중성화 부분은 침투성알칼리성부여제의 도포에 의한 알칼리 회복, 철근부식이 발생된 곳 및 부식 가능성이 많은 부분에서는 도포형방청제의 도포에 의한 철근부식 억제, 단면이 손실된 부분은 폴리머-시멘트계 재료를 사용한 단면복구 등을 통하여 콘크리트의 내구성 증진을 도모하였다.

또한, 휨균열이 발생된 보의 경우 내하력 저하가 예상되어 RC부분에서는 탄소섬유보강, PC부분에서는 PC강선을 이용하여 내하력 증진을 도모하였다.

누수방지를 위해 기존 아스팔트를 철거한 후 콘크리트면에 교면방수를 실시하였으며, 아스팔트 타설후 조인트 부위는 신축이음장치를 설치하였다.

4. 보수재료 및 보강재료의 개요

4.1 보수재료

본 공사에 사용된 도포형알칼리부여제 및 도포형방청제는 현재 국내에서 보수재료로 유통되고 있는 S사의 제품을 사용하였으며, 물리적 성질은 표 3 및 표 4와 같다. 도포형알칼리성부여제의 주성분은 규산염이고, 도포형방청제의 주성분은 아질산염이다.

이들 보수재료는 시공하기전 모두 그 성능을 평가하여 품질을 확인하였다.

표 3 알칼리성부여제의 물리적 성질

성분	점도	비중	pH	빙결점	외관
특수조합의 규산염수용액	10CPS 이하	1.09 ± 0.02	11 ± 0.5	0℃	담황색 투명수용액

표 4 도포형방청제의 물리적 성질

주성분	점도	비중	빙결점	외관
아질산염	10CPS 이하	1.25 ± 0.05	10℃	담황색 투명수용액

4.2 보강재료

본 보강공사에 사용된 PC강선의 구조는 그림 2와 같고, 탄소섬유의 물리적 성질은 표 5와 같다.

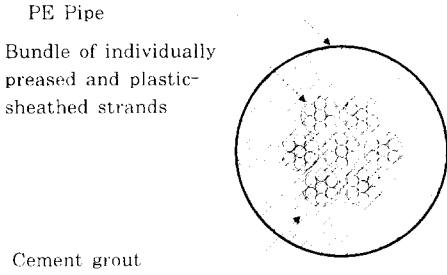


그림 2 PC강선의 구조

성능저하 현상에 대하여 안정한 무기질 소재로 알칼리성을 부여하여 황산화합과 동시에 표면을 강화하여 콘크리트를 물리적·화학적으로 Refresh 하는 공법으로 신기술 209호로 지정된 공법이다.

표 6은 리프리트 공법의 특징을 나타낸 것이므로 일반적인 보수공법에 비해 알칼리성 회복, 방청처리, 통기성 측면에서 우수하며 시공후 열팽창 계수, 탄성계수 차이로 인한 균열발생이 거의 없고, 적용범위도 다음과 같이 광범위하게 사용할 수 있는 장점이 있다.

활용할 수 있는 부위로서는

① 중성화, 염해, 알칼리 골재반응 등으로 성능 저하된 콘크리트 표면부위

표 5 탄소섬유의 물리적 성질

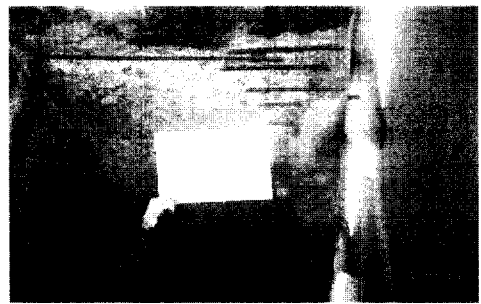
구분	섬유중량 (g/m ²)	섬유비중 (g/cm ³)	설계두께 (mm)	인장강도(kg/cm폭) 설계강도(kg/cm ²)	인장탄성율(kg/cm폭) 설계탄성율(kg/cm ²)	파단신도 (%)
탄소섬유	200	1.82	0.110	390 35,500	25,900 2.35 × 10 ⁶	1.5

5. 보수·보강 공사 개요

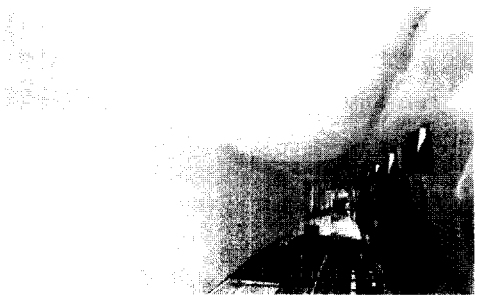
5.1 내구성 향상을 위한 보수공사

균열, 박리·박락, 철근부식, 중성화등으로 콘크리트가 성능저하가 된 부위는 급변에 신기술을 지정한 리프리트 공법을 적용하였다.

리프리트 공법은 콘크리트 구조물의 여러 가지



리프리트 시공전



리프리트 시공후

사진 3 리프리트 시공 전·후

표 6 일반 보수공법과 리프리트 공법의 비교

구분	일반적인 보수공법	리프리트 공법
중성화 회복	· 무 처리	· 알칼리성 부여제 (리튬실리케이트계) → pH11.2로 알칼리성 회복
방청처리	· 에폭시 코팅 · 국부전지 형성으로 부식방생	· 도포형성방청제 (아질산염계) · 방청페이스트 도포
단면 복구	· 경량 에폭시수지 모르타 · 팽창계수, 탄성계수 차이로 균열발생	· 폴리머 시멘트 모르타(SBR계) · 폴리머 시멘트 페이스트(SBR계)
마감재	· 유연형 방수도막재 · 통기성 부족으로 결로 철근부식 발생	· 통기성 방수도막재 · 결로 및 철근부식 방지

- ② 동해에 의해 손상을 입은 콘크리트 표면
- ③ 노후화된 모르타르, 시멘트,수지등의 마무리면
- ④ 화재에 의해 손상을 입은 콘크리트 표면 등을 들 수 있다.

그림 3은 콘크리트 성능저하에 따른 각각의 리프리트 공정순서를 나타낸 것이며, 사진 3은 리트 리트 공법의 시공전·후의 사진이다.

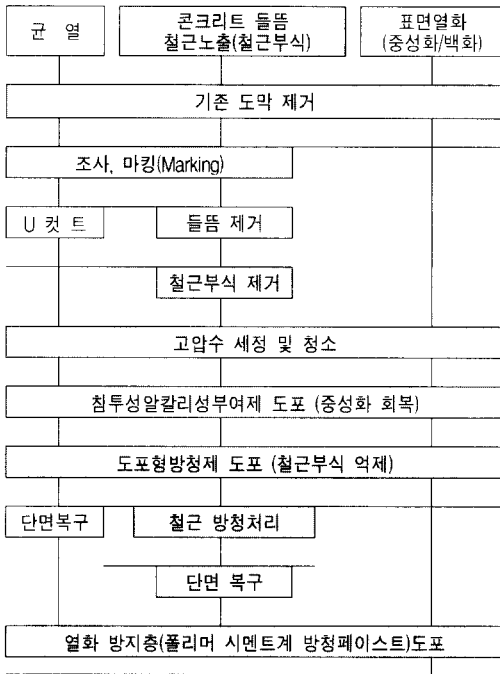


그림 3 리프리트 공법의 플로우

5.2 내하력 향상을 위한 보강공사

본 구조물의 보강공사계획은 RC보의 경우 탄소섬유 보강하고, PC보의 경우는 포스트 텐서닝(Post-Tensioning)을 이용한 PC강선 보강을 실시하였다.

5.2.1 탄소섬유 보강

탄소섬유시트는 재료비는 고가이나 시공성이 간편하고, 성능이 우수하여 현재 보강공법으로 많이 사용되고 있다.

시공전 콘크리트가 박리·박락 및 균열 등의 성능저하를 보인 것은 그림 4와 같이 리프리트 공법으로 사전에 실시한 후 실시하며, 표 7은 탄소섬유 보강공법의 순서 및 재료 사용량을 나타낸 것이다. 사진 4는 탄소섬유 보강후를 나타내 주고 있다

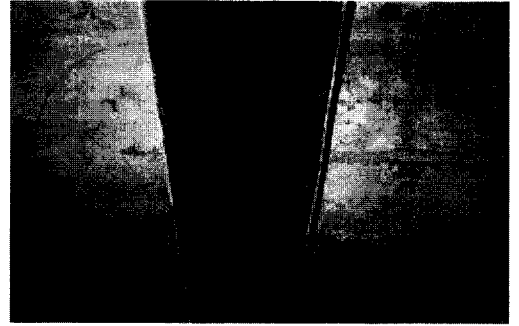


사진 4 탄소섬유보강 후

표 7 탄소섬유보강 공정순서 및 재료사용량

공정	재료	표준수량 (kg/m ²)	
요철부위수정	에폭시 퍼티	1.5	
프라이머	FR 프라이머	0.25	
토우 시트 접착	수지바름	FR 레진	0.4~0.5
	시트접착	FORCA토우시트	-
	수지바름	FR레진	0.2~0.3
마감 도장	도료중도	중도도료	0.15
	도료상도	상도도료	0.15

주) 토우시트 2층 이상 적용시 : 토우시트 접착 공정을 반복

5.2.2 PC강선 보강

포스트 텐서닝에 의한 PC강선 보강공법은 기존의 프리스트레스트 공법의 한 분야로서 기존 구조체의 변형이나 응력을 복원시켜 보강하는 능동적인 보강방법이다.

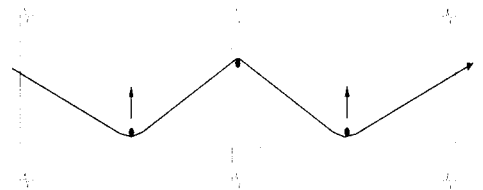


그림 4 외부텐던 방식의 기본 배치

포스트 텐서닝 보강공법은 내부텐던 방식과 외부텐던 방식 두가지가 있으며, 본 공사에서는 외부텐던 방식을 사용하였다.

외부텐던 방식은 구조체 단면 외부에 포스트 텐서닝 케이블을 설치하여 긴장하는 보강방식으로 그림 4와 같이 편심용 블록을 설치하여 구조체에 편심력(Deviation Force)을 도입하여 보강하는 방식으로 본 공사에서는 위의 기본 방식으로 보강하였다.

그림 5은 P.C강선 보강 플로우를 나타낸 것이며, 사진 5는 P.C강선 보강완료 후 사진이다.

- 외부텐던 방식의 장점은 다음과 같다.
- 1) 구조해석이 명확하고 적용범위가 넓음.
 - 2) 자중이 가벼워 하중의 증가가 거의 없음.
 - 3) 설치가 간편하며 공기가 짧음
 - 4) 공사비가 저렴하고 유지관리가 용이

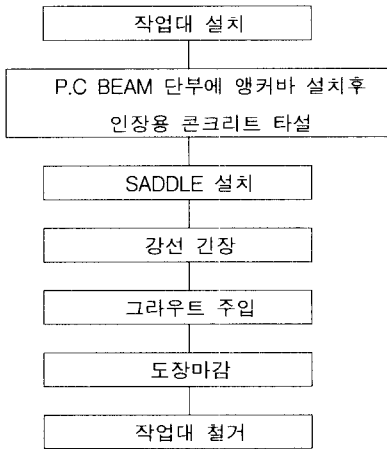


그림 6 PC강선 보강의 플로우



사진 5 PC강선 보강완료 후

- 5) 시공후 응력관리를 위한 긴장력 조절가능
- 6) 추후 필요시 PC Tendon의 교체가 용이

5.3 교좌장치 및 신축이음부 보수

본 교의 지지는 교좌장치 없이 바로 교대 및 교각위에 설치한 상태여서 교좌장치의 기능을 발휘하지 못하고 있어서 차량 통과시 과도한 충격하중을 하부구조에 그대로 전달하여 교대 두부의 콘크리트 파손을 초래하고 있다.

따라서, 그림 6과 같이 교좌장치의 교체 플로우에 의해 교좌장치를 설치하였으며, 사진 6는 교좌장치 교체 광경을 나타낸 사진이다.

또한, 본 교의 신축이음은 전 구간이 맞대기 형식을 되어있으나, 노면의 아스팔트 재포장시 덧씌우기 포장으로 신축이음의 기능을 발휘하지 못하고 있었다.

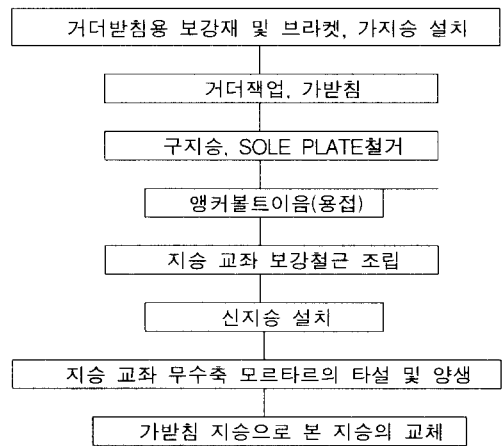


그림 6 교좌장치 교체 플로우



사진 6 교좌장치 교체 상황

이로 인한 신축이음부상의 아스팔트 균열로 강우시 빗물의 누수와 백화현상을 초래하였다.

따라서, 본 공사에서는 아스팔트 재포장 후 사진 7과 같이 실린트로 신축이음부를 설치하였다.

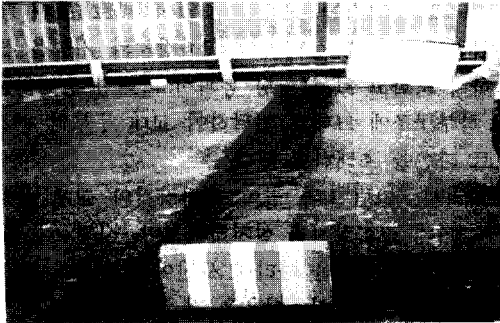


사진 7 신축이음부 시공후

5.4 슬라브 상판 교면방수 공사

교량하부의 누수를 방지하기 위하여 아스팔트를 전면 철거한 후 콘크리트면에 방수공사를 실시하였다.

방수공사를 실시하기 전 콘크리트 면의 성능이 저하된 부위는 모두 제거 한 후 초속경모르타르로 단면복구를 실시한 후 2차에 걸쳐 방수공사를 실시하였다. 사진 8은 상부 콘크리트의 교면방수 완료후 사진이다.



사진 8 상부콘크리트 교면방수 시공후

또한, 기존의 배수구멍이 아스팔트 덧씌우기 의해 매몰되어 있어 배수기능을 상실하였다. 따라서, 배수관을 신설하여 배수기능을 향상시켰다.

6. 맺음말

본 교량의 보수·보강공사는 중성화, 화재로 인한 철근부식, 단면결손등의 내구성저하현상과 재하시험을 통한 내하력평가결과 설계당시의 내하력회복이라는 2가지를 목적으로 시행되었다. 따라서 침투성알칼리성부여제 및 도포형방청제를 사용하여 콘크리트에 대한 재알칼리화 및 철근에 대한 신부동태피막을 형성시키고 SBR계 폴리머 시멘트복합체로 철근방청처리 및 단면복구를 실시하여 콘크리트의 내구성을 향상시킨후 탄소섬유시트보강 및 PC강선에 의한 내하력향상을 도모하였으며 이러한 공사내용은 구조체의 성능향상을 위한 매우 합리적인 보수보강 공사였다고 판단된다.

공사추진시 장마철에 단면복구공사를 수행했던 관계로 백화현상이 발생하여 발수제전정에 따른 애로사항이 있었으며 향후 탄소섬유시트공법과 화재특성 및 기차운행과의 관계에 대한 검토가 요망되었다.

또한 교통 통제일수를 가능한 적게 하기위하여 무리하게 수행된 부분과 공사후 현시점에서 내구성 및 내하력이 어느정도 향상되었고 소요의 품질을 확보하고 있는지에 대한 평가가 이루어지지 못한 아쉬움이 남는다.

향후 적절한 시기에 본 공사에 대한 성능향상 정도를 평가할 수 있는 기회가 있었으면 하는 아쉬움과 아울러 보수·보강공사를 전문적으로 할 수 있는 숙련공의 육성이 시급한 것으로 사료되었다.

참고문헌

1. 권영진, 내구성향상을 고려한 철근콘크리트구조물의 보수재료, 공법 및 시공기술, 쌍용엔지니어링자료, 1999.2
2. 건교부 국책과제, 프리믹스형보수재료를 적용한 R/C구조물의 보수 및 탄소섬유보강공법개발, 1996. 