

보수재료의 내구성

Durability of Repair Materials



김 중 구*

이 소고는 Concrete International 1996년 3월 호에 게재된 Durability of Repair Materials를 번역한 것이다. 최근 고조되고 있는 보수 및 보강재료의 내구성에 대한 이해를 돕기 위한 것이며, 이 소고에서는 보수와 보강을 따로 구별하지 않았으며 모두 보수(repair)로 통일하였다.

1. 서 론

콘크리트 보수는 수요가 많음에도 불구하고, 완전한 자료와 적절한 지침이 부족하기 때문에 설계자는 내구성을 가진 보수의 설계와 시공을 위하여 어떻게 진행하여야 하는지 확신을 가지지 못하고 있다. 북아메리카와 같은 극한 기후 조건하에서는 내구적인 보수를 하기는 더욱더 어렵다.

보수가 오래 가도록 하기 위하여 기본적으로 보수재료와 접착모체의 성질이 적절히 일치하여야 한다. 이러한 성질은 보수재료가 성능저하 없이 주어

진 기간 동안 기술된 환경 하에서 부피변화나 하중에 의하여 발생하는 응력에 대처할 수 있도록 도움을 준다.¹⁾

가장 널리 사용되는 보수 방법 중의 하나가 패치와 시멘트계를 포함한 방수과정 또는 폴리머계 패치와 탄성계 막이다. 표면의 요철이나 표면 하강에 의하여 일어나는 함몰을 편편하게 하거나 염화물 오염 때문에 제거된 콘크리트를 대체하기 위하여서는 방수를 하기 전에 콘크리트를 타설하기 전에 패칭을 실시한다. 때때로 현재 상용화된 패칭재료나 특별히 설계된 콘크리트 배합은 하중 지지 요건에 대한 적절한 고려 없이 사용되고 있으며, 그로 인한 조기 성능저하의 문제를 일으키고 있다. 이 기사는 보수과정의 설계와 패칭재료의 선택에 고려하여야 하는 재료와 구조적인 특성 및 다른 요소들을 개략적으로 나타내고 있다.

* 정회원, 한국안전진단기술연구소 소장, 공학박사

2. 패칭시스템의 파괴 형태

보수된 구조물에 내구성이 부족하면 탈락, 균열, 스케일 및 강도 손실로 명백하게 나타난다. 세 가지 주요 파괴 형태는 다음과 같다.

① 패치의 두께를 따른 인장 균열

이러한 형태의 균열은 수분과 염분 침투를 일으키며(그림 1(a)) 패치의 인장강도가 접촉면에서의 부착과 접촉모체 콘크리트의 강도 보다 작은 경우 발생하는 경향이 있다. 반복 동결융해 또는 동하중에 의하여 층분리가 일어나지 않는다면 패치는 접촉모체 콘크리트에 부착된 채로 남아 있을 것이다.

② 접촉면 하부의 접촉모체 콘크리트의 전단

이러한 현상이 발생할 때 파괴는 패치의 하부에 부착된 모체 콘크리트 층과 패치의 층분리로 나타난다(그림 1(b)). 접촉모체 콘크리트의 전단강도가 접촉 면에서의 부착강도와 패치의 인장강도보다 낮을 때 이것이 주된 파괴 형태이다.

③ 보수재료와 접촉모체 콘크리트 사이의 부착 파괴

접촉면에서의 부착강도가 모체 콘크리트와 보수재료의 강도보다 낮을 때 이것이 발생한다(그림 1(c)).

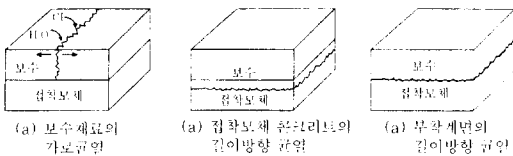


그림 1 패칭시스템의 파괴형태

3. 보수의 형태 : 구조체와 비구조체

패칭이 구조체의 보강에 널리 사용되고 있지만 구조체의 보수나 비구조체의 보수에 사용되는 재료의 형태 사이에는 약간의 차이가 있다. 콘크리트 패칭 재료는 두 가지 다른 방법으로 사용된다.

① 비구조체의 보수는 표면의 형상이 항상, 투수성의 감소, 철근의 보호 또는 마찰 저항성을 향상시키는 것이다(그림 2(a)).

② 구조체의 보수는 손상된 부재의 설계하중 지지능력 회복, 또는 과소 설계된 부재의 하중 지지능력을 증진시키는 것이다(그림 2(b)).

중요하거나 과도한 응력은 구조체의 보수에서와 같이 쉽게 비구조체의 보수에서도 발생할 수 있다. 비구조체의 보수인 경우 계면에 발생하는 응력이 계면 부착강도를 초과하지 않고, 구조체의 보수인 경우 보수가 설계하중을 지지할 수 있고 사용 조건에서 시간이 경과함에 따라 발생할 수 있는 어떠한 부피 변화도 수용할 수 있도록 하기 위하여 적절한 보수설계는 부착된 재료의 성질과 치수의 정확한 조화를 필요로 한다.¹²⁾

보수 과정이나 연속되는 양생기간 동안 보수를 하는 부재의 처받침이나 받침에 의한 외부 고정하중과 적재하중의 일부를 지지함으로써 일어나는 파괴는 모체 콘크리트에 영구히 남아 있는 내부 응력(손상된 콘크리트가 제거되었을 때 주위의 모체 콘크리트로 전달되는)의 일부를 일으킨다. 이러한 경우 구조적 보수의 응력을 지지하고 전달하는 효율성은 감소되고 손상된다.

보수의 형태에 관계없이 보수된 부재는 일체로 거동하여야 하고 보수된 부분에서 피로나 성능저하 없이 모든 응력을 전달할 수 있도록 보수재료가 접촉모체 콘크리트와 일치하는가를 확인하는 것이 중요하다.

4. 적합하고 내구적인 패칭 재료의 선택

설계 기술자에게 매우 다양한 보수재료가 있다.¹³⁾ 이러한 재료는 시멘트계 모르타, 폴리머 수정 시멘트계 모르타, 수지계 모르타의 세 가지 그룹으로 분류할 수 있다. 표 1과 같이 이러한 그룹은 보수제품의 일반적인 형태로 세분할 수 있다.

표 2는 이 세 가지 그룹의 보수재료에 대한 주요한 성질에 대한 대표적인 값을 나타내고 있다. 이러한 세 가지 다른 보수재료들은 주어진 기계적 성질에서 큰 차이를 보여준다. 두 가지 부착된 재료의 기계적 성질에서 이러한 차이는 초기 인장 원력의

발생 뿐 아니라 보수재료의 이탈을 일으키는 계면 또는 근처에서 균열의 발생을 일으킬 수 있다. 구조적 보수의 경우 이러한 현상은 하중 지지능력의 손실을 일으킬 수 있다. 명백하게 매우 다양한 기계적 성질을 가진 상업적으로 얻을 수 있는 보수재료가 매우 많기 때문에 적절한 보수재료의 선택을 망설이게 한다. 특히 가혹한 환경이나 하중조건에서 더욱 망설이게 한다.

주어진 환경 조건하에서 패치재료를 선택하기 위하여 고려하여야 하는 중요한 기준은 사용 중 노출되는 조건, 논리적 고려, 패치 설치변수 및 재료의 특성이다.

표 1 콘크리트 패치 보수를 위한 일반적 시스템

시멘트계 모르타	폴리머 수정 시멘트계 모르타	수지계 모르타
포틀랜드 시멘트(PC)	스티렌 부타디엔 고무	에폭시
고알루미나 시멘트(HAC)	비닐 아세테이트	폴리에스터
PC/HAC 혼합	마그네슘 인산염	아크릴
팽창그리우트	아크릴	폴리우레탄

표 2 보수재료의 대표적인 기계적 성질

기계적 성질	시멘트계 모르타	폴리머 수정 시멘트계 모르타	수지계 모르타
압축강도(MPa)	20-50	30-60	50-100
인장강도(MPa)	2-5	5-10	10-15
압축탄성계수(GPa)	20-30	15-25	10-20
열팽창계수($^{\circ}\text{C}^{-1} \times 10^{-4}$)	10	10-20	25-30
흡수율(무케비, %)	5-15	0.1-0.5	1-2
최대사용온도($^{\circ}\text{C}$)	>300	100-300	40-80

5. 사용 중 노출조건

보수 프로그램에서 고려하여야만 하는 사용 중 노출조건은 아래와 같다.

① 습도와 온도의 변화

온도의 변화와 습윤과 건조의 반복은 치수의 확대와 수축을 일으킨다. 이러한 조건은 보수재료의 인장강도를 초과하는 인장응력을 일으킬 수 있으며 그로 인한 보수재료의 균열 또는 이탈을 일으킨다.

② 동결 융해의 반복

포화 또는 경화 콘크리트가 낮은 온도에 노출될 때 모세관 공극에 있는 물은 얼게 되고 부피가 늘어난다. 반복되는 동결 융해 순환이 누적되면 보수재료의 빠른 성능 저하를 일으킨다.

③ 충격, 지숙 또는 반복하중

재료의 몇 가지 성분의 다른 파동전달률 때문에 충격하중은 콘크리트의 탈락을 일으킬 수 있다. 보수재료와 접착모체 콘크리트의 다른 크리이프 때문에 지숙하중은 보수재료에 추가적인 변형을 일으킬 수 있다. 더욱더 반복하중은 보수재료의 피로능력을 초과할 수 있고 이것이 파괴를 일으킨다.

6. 논리적인 고려

많은 경우 보수되어야 할 부분에 접근하기 어렵고 쉽게 흐르는 자기수준(self-leveling)재료의 사용을 요구한다. 설비가 노출되어 있을 때 보수를 하여야 한다. 이러한 논리적 고려가 보수재료의 선택에 있어서 다른 사항보다 때때로 우선한다. 상세 시방과 라이프 사이클 비용보다도 성능을 중요하게 생각하는 것은 저렴한 유지 보수비용을 가진 시스템의 사용을 의미한다.

7. 패치 설치 변수

보수 프로그램을 설계하는 동안 다음의 변수를 고려하여야 한다.

① 보수 패치의 크기와 기하학

큰 패치의 성능은 구조물의 사용 연한 동안 보수재료의 응력과 변형률 능력에 따르지만 작은 패치의 성능은 대부분의 경우 보수재료의 변형률 능력에 따른다. 큰 패치나 작은 패치 모두에 대하여 높은 응력이 모서리와 단면이 변하는 곳에 집중될 수 있고 부착 계면과 패치 자체에 균열을 일으킬 수 있다. 따라서 적절한 인장강도를 가진 보수재료를 선택하여야 한다.

② 보수 부위에 철근

패치 보수에서 철근의 영향은 패치와 접착모체

사이의 계면에 따른 전단응력과 접촉모체의 인장응력을 감소시킨다. 철근은 또한 보수재료의 강력한 기계적 정착을 제공하고 가로 계면의 변형을 감소시키며 계면 근처의 집중응력을 제거한다. 그러나 철근은 새로운 문제를 일으킬 수 있다. 움직임을 억제하는 구속과 부식에 의한 압력 증가는 철근 주위에 집중적으로 큰 응력이 발생할 수 있다. 이러한 이유에서 철근에 부착이 잘 되고, 적절한 인장강도를 가지고 투수성이 낮은 보수재료를 선택하는 것이 중요하다.

③ 단면 강성의 영향

강성이 큰 보의 비교적 작은 곡률 반경에 의하여 발생하는 움직임에 대한 구속 때문에 이러한 보의 보수재료에서는 추가적인 수축 균열이 발생할 수 있다. 부정정 구조물의 보수된 보에서 단면 강성의 차이는 정정 구조물에서 발견되는 커다란 수축에 의하여 일어나는 것 보다 더 큰 움직임의 구속을 일으킨다.⁽⁴⁾ 그러므로 건조수축이 억제되는 경향이 있는 곳에서는 수축량이 적은 보수재료를 사용할 필요가 있다.

8. 재료 특성

내구성과 적합성을 가진 보수재료에서 고려하여야 하는 가장 중요한 몇 가지 성질은 표 3에 나타났다. 보수재료(R)의 성질과 접촉모체(C)의 성질 사이에는 요구되는 관계는 각각 성질에 대하여 괄호 안에 나타내었다.

① 수축 변형률($R < C$)

시멘트계 재료에서 수축의 대부분은 셋팅과 경화 이후 시멘트 풀이 건조하면서 발생한다. 수지계 재료에서 수축은 특히 두께가 15mm를 초과하는 경우, 발열 반응 이후의 냉각에 의하여 발생한다. 수축이 구속되는 경우(그림 2(b)) 영구 인장 응력이 보수재료에서 발생하고, 재료 자체에 균열이나 보수재료와 접촉모체의 경계면에서 층 분리를 일으킬 수 있다.⁽⁵⁾ 대부분의 보수재료는 수축을 무시할 수 있는 오래된 접촉모체 콘크리트에 적용하기 때문에, 시공 후 즉시 수축이 발생하는 보수재료는 수축

표 3 적합성을 위한 패치 보수재료의 일반적인 요구조건

성 질	보수재료(R)와 접촉모체 콘크리트(C)의 관계
수축 변형률	$R < C$
크리이프 계수 (압축에 대한 보수의 경우)	$R < C$
크리이프 계수 (인장에 대한 보수의 경우)	$R > C$
열팽창 계수	$R = C$
탄성 계수	$R = C$
포아송 비	$R = C$
인장 강도	$R > C$
피로 성능	$R > C$
부착력	$R > C$
간극률과 저항률	$R = C$
화학 반응성	$R < C$

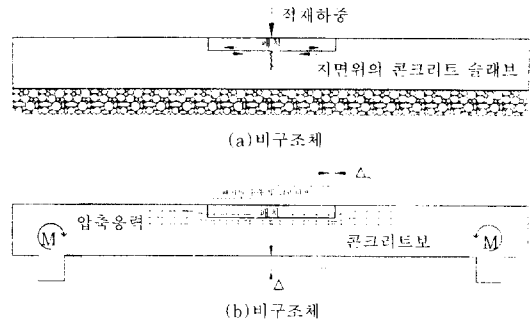


그림 2 구조체와 비구조체의 대표적인 보수

이 매우 작아야 한다.⁽⁶⁾

② 크리이프 계수($R < C$ 또는 $R > C$)

크리이프는 지속적인 하중이 작용하는 부재의 연속적인 변형이다. 크리이프는 보수재료의 하중 지지 효율을 저하시키고, 보수재료로부터 접촉모체 콘크리트나 비구조체로 하중 전달을 일으킨다. 압축이 작용하는 구조체의 보수인 경우(그림 2(b)) 보수재료는 크리이프가 매우 적어야 한다. 반면에 인장이 작용하는 보수 패치의 경우 크리이프는 보수재료에서 수축의 불리한 영향을 감소시키거나 제거시킴으로써 유리할 수 있다.⁽⁷⁾

③ 열팽창계수($R = C$)

열팽창계수는 온도 변화에 따른 재료의 길이 변화를 측정하는 것이다. 열팽창계수가 다른 두 재료를 사용하고 온도의 변화가 클 경우, 복합 재료에 응력이 발생한다. 이러한 응력은 경계면이나 강도가 낮

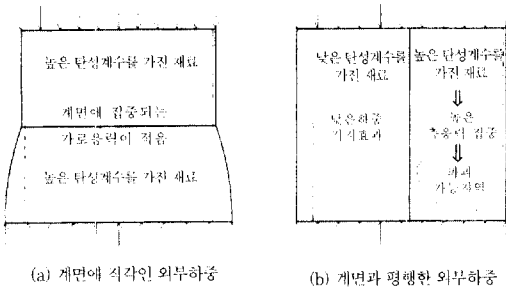


그림 3 탄성계수가 불일치 하는 경우의 효과

은 재료의 파괴를 일으킬 수 있다. 이것은 예폭시 로 도막이 된 바닥으로 이루어진 육류 가공 공장에서 볼 수 있다. 바닥의 중기 세척에 의하여 높은 열 팽창계수를 가진 예폭시 도막이 경계면에서 전단 탈락이 일어난다. 온도 변화가 매우 작지 않으면, 보수재료의 열팽창계수는 접착모체 콘크리트의 열 팽창계수와 비슷하여야 한다.

④ 탄성계수($R = C$)

탄성계수는 강성을 측정하는 것이다. 낮은 탄성계 수의 재료는 높은 탄성 계수를 가진 재료에 비하여 주어진 하중 하에서 크게 변형을 일으킨다. 외부하 중이 다른 탄성계수를 가진 재료의 부착선(그림 3(b))과 평행하게 작용할 때, 이 두 재료는 낮은 탄 성계수를 가진 재료로부터 높은 탄성계수를 가진 재료로 응력을 전달하고, 결과적으로 응력집중이나 높은 탄성계수를 가진 재료의 파괴를 일으킨다.⁽⁸⁾ 외부하중이 부착선과 직각으로 작용하는 경우 (그 림 3(a)) 만약 그 외부하중이 압축으로 작용하면 두 재료 사이의 강성 차이로 인한 문제는 적다. 그 러나 이 하중이 인장인 경우 탄성계수의 차이는 부 착파괴를 일으키는 경향이 있다.

높은 탄성계수를 가진 재료는 낮은 탄성계수를 가진 재료의 가로수축을 심각하게 구속한다. 높은 응력 집중은 낮은 탄성계수를 가진 재료의 계면에서 매우 가까운 부분에 발생하고 파괴를 유발한다.⁽⁹⁾ 그러므로 설계자는 모체 콘크리트와 보수재료가 비슷한 탄성계수를 가진 것을 확인하여야 한다.

⑤ 프아송 비($R = C$)

프아송 비는 일축하중 방향의 변형에 대한 가로

방향 변형률의 양을 제어한다. 부착면이 하중의 방 향과 직각이면 프아송 비의 영향이 크며 하중이 부 착면과 평행하면 그 영향을 무시할 수 있다.⁽¹⁰⁾ 만약 부착면이 하중과 직각이 아니면 프아송 비가 일치 하지 않은 부착된 재료는 부착선을 따라 서로 다른 가로 변형률을 발생시킬 수 있고 계면에 균열을 일 으킨다. 이러한 이유로 접착모체 콘크리트와 보수 재료의 프아송 비가 비슷하게 하는 것이 중요하다.

⑥ 인장강도($R > C$)

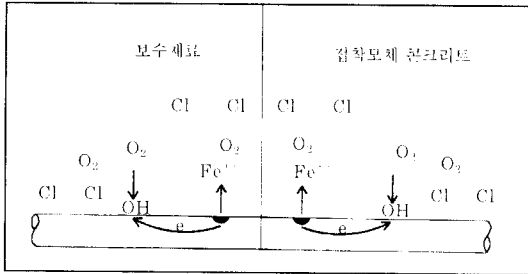
인장력은 외부 하중(충격, 지속, 반복하중) 부피 변화 (건조수축, 크리프, 온도 및 습도변화)와 보 수재료의 접착모체 콘크리트 성질이 일치하지 않는 것의 조합에 의하여 보수재료에 발생할 수 있다. 이 러한 힘이 보수재료의 인장능력을 초과하는 인장응 력을 일으키는 경우 인장균열, 박리 또는 탈락 등과 같은 보수재료의 파괴를 예측할 수 있다. 그러므로 아마도 압축강도보다 인장강도가 보수 프로젝트의 적절한 재료를 선택하는데 더욱더 고려해야 할 중 요한 성질이다.

⑦ 피로성능($R > C$)

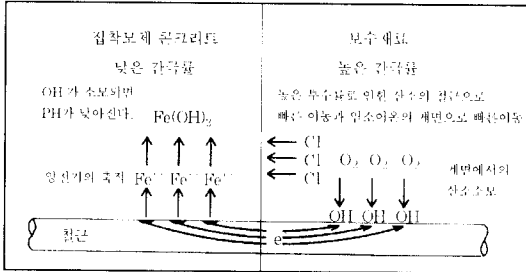
반복하중은 균열을 점진적으로 발생시키고 발전 시키기 때문에 재료의 피로강도는 정적강도보다 작 다. 응력이 증가함에 따라 보수재료가 저항할 수 있 는 하중의 반복횟수는 감소한다. 만약 보수재료에 응력의 수준이 경험적으로 무시할 만하다고 예측되 지 않으면 보수재료는 충분한 피로 성능을 가지고 있어야 한다.

⑧ 부착력($R > C$)

부착된 재료의 성능이 적절하게 일치하는 경우 부착이 개선되면 복합시스템의 성능이 증가한다. 부착선에 직접인장이 작용하는 보수는 골재의 인터 락의 도움을 받는 부착선에 전단을 받는 보수보다 부착에 더욱 영향을 받는다. 계면의 부착강도는 접 착모체 콘크리트의 성질과 표면(거친 정도, 청결성, 양생 상태) 흡수, 모체와의 접착능력을 포함한 보수 재료의 성질 및 환경조건에 의하여 영향을 받을 수 있다.⁽¹¹⁾



(a) 초기단계-보수재료와 접착모체 콘크리트
대부의 산소와 염소이온의 균일한 분포



(a) 후기단계-산소와 염소 이온의
불균일한 분포에 의한 활발한 부식활동

그림 4 성질이 불일치 하는 경우의 효과

⑨ 강극률과 저항률($R = C$)

패칭재료의 강극률과 저항률은 패치의 내구성에 또한 영향을 미친다(그림 4). 매우 치밀하거나 불침투성이거나 저항이 높거나 절연재료를 사용하는 경우 보수된 부위는 주위의 피해를 입지 않은 부분과 차단되는 경향이 있다. 결과적으로 패치된 부분과 나머지 콘크리트 사이에 큰 강극률 또는 염화물 함유량의 커다란 차이가 생기고 차례로 제한된 지역에 집중된 부식으로부터 전류를 발생시킨다. 철의 부식률을 가속화시켜 패치 또는 인접된 콘크리트의 빠른 파괴를 일으킨다.⁽¹²⁾ 그러므로 보수재료를 선택할 때 접착모체 콘크리트와 보수재료 사이의 강극률과 치밀성이 비슷한 것을 확인하는 것이 중요하다.

⑩ 화학 반응성($R < C$)

철근, 물론 다른 강재 및 콘크리트 골재를 가진 패칭재료 또는 패치에 사용하는 실러와 보호 코팅재를 가진 패칭재료의 반응성을 고려하여야 한다. 높은 알칼리성 재료는 콘크리트에서 알칼리 골재 반응을 일으키는 반면, 낮거나 보통 정도의 PH를

가진 패칭 재료는 콘크리트를 보호하지 못한다. 그러므로 접착 모체와 표면 보호제품을 가진 패칭재료의 반응성을 검토하여야 한다.^(11,13)

9. 요약

보수재료의 성능, 보수재료와 접착모체 사이의 잠재적인 부적합성에 대한 완전한 자료의 부족이 북아메리카에 있는 보수된 콘크리트 구조물의 많은 파괴중 적어도 부분적인 이유가 된다. 성능저하의 원인에 대한 상세한 진단이 행하고 주어진 환경과 사용조건에 적당하고 접착모체와 적합한 재료를 선택하기 위하여 충분한 고려를 할 때만이 효과적이고 내구적인 보수를 실현할 수 있다. 선택된 보수재료가 보수의 기대 수명을 다할 수 있는 성능을 가진 것을 확인하는 것은 설계 기술자의 책임이다.

참 고 문 헌

- Emmons, P. H. and Vaysburd, A. M., "Factors Affecting the Durability of Concrete Repair: The Contractors Viewpoint," Construction and Building Materials, 8(1), 1994, pp. 5-16.
- Plum, D. R., "The Behavior of Polymer Materials in Concrete Repair, and Factors Influencing Selection," The Structural Engineer, 68(17), 1990, pp. 337-345.
- Mailvaganam, N. P., "Repair and Protection of Concrete Structures," CRC Press, Boca Raton, 1992, pp. 473.
- Yuan, Y-S. and Marosszeky, M., "Restrained Shrinkage in Repaired Reinforced Concrete Elements," Materials and Structures, 27, 1994, pp. 375-382.
- Yuan, Y-S. and Marosszeky, M., "Major Factors Influencing the Performance of Structural Repair," ACI Special Publication SP-128-50, 2, 1991, pp. 819-837.
- Brill, L., Komlos, K., and Majzlan, B., "Early Shrinkage of Cement Paste, Mortars and Concrete," Materials and Structures, 13(73), 1980, pp. 41-45.
- Saucier, F., Detriche, C. H., and pigeon, M.,

- "Tensile Relaxation Capacity of a Repair Concrete," *Materials and Structures*, 25, 1992, pp. 335-346(in French).
8. Hewlett, P.C and Hurley, S.A., *The Consequences Of Polymer-Concrete Mismatch, Design Life Of Buildings*, Thomas Telford, London, 1985, pp. 179-196.
 9. Good, R. J., "Locus of Failure and its Implications for Adhesion Measurements, Adhesion Measurement of Thin Films, Thick Films, and Bulk Coatings," ASTM STP 640, K.L. Mittal, ED., American Society for Testing and Materials, 78, 1978, pp. 18-29.
 10. Emberson, N.K, and Mays, G. C., "Significance of Property Mismatch in the patch Repair of Structural Concrete - part 1 : Properties of Repair Systems," *Magazine of Concrete Research*, 42(152), 1990, pp. 147-160.
 11. Saucier, f. and Pigeon, M., "Durability of New-to-Old Concrete Bondings," *ACI Special Publication SP-128-43*, 1, 1991, pp. 689-705.
 12. Gu, P., Fu, Y., Xie, P., and Beaudoin, J. J., "Effect of Uneven Porosity Distribution in Cement Paste and Mortar on Reinforcing Steel Corrosion," *Cement and Concrete Research*, 24(6), 1994, pp. 1055-1064.
 13. *Understanding Why Concrete Patches Fail.* Material News, Material Laboratories, Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, spring 1994, p. 4.
 14. Mays, G. and Wilkinson, W., *Polymer Repairs to Concrete: their Influence on Structural Performance*, *ACI Special Publication SP-100-22*, 1, 1987, pp. 351-375

콘크리트학회 전문서적 보급안내

최신 콘크리트공학(개정판)

■ 한국콘크리트학회 편

이 책은 콘크리트 기본 구성재료의 특성 및 요건 등을 분석하고, 이들 구성재료를 이용한 배합설계, 굳지 않은 콘크리트의 기본성질, 혼합, 운반 및 타설과정의 특기사항, 양생, 콘크리트의 시험, 품질관리, 내구성 뿐만 아니라 최근에 개발되고 있는 새로운 콘크리트의 제조 및 제반 특성에 이르기까지 포괄적인 내용을 실고 있다.

• B5 · 682面/定價 20,000원(회원 10% 할인), 우송시 송료 2,100원 별도부담

고성능유동화제를 이용한 고강도콘크리트의 제조와 특성 및 활용 —본 학회 국제워크숍 교재—

- 집필진 : Pierre-Claude Aitcin, 노재성, Yasuo Tanigawa, 신성우, 오병환
- A4 · 360面
- 보급가 : 회 원 18,000원, 비회원 20,000원