

내구수명 중진을 위한 콘크리트 구조물용 표면처리공법 개발

Development of Surface Treatment Systems for Concrete Structures to Extend Service Life

이창수*

윤인석**

이규동**

박종혁**

Lee, Chang-Soo

Yoon, In-Seok

Lee, Kyu-Dong

Park, Jong-Hyuk

Abstract

Concrete structures stand in poor surrounding than it has ever been met before, because they are installed in severe conditions such as chloride penetration, CO₂ gas, water and so on. Therefore, the countermeasure to efficiently protect from the deterioration of concrete structures should be urgently considered. From this point of view, this study was aimed to develop surface treatment systems for concrete structures, which cover physical properties, long term durability and economic consideration. Developing the optimal surface treatment materials, powder type polymer or liquid type polymer was added to inorganic base materials. Three surface treatment materials which had shown best results in primary tests were selected and durability tests were fulfilled. Consequently optimum surface treatment material was developed. The surface treatment materials, which were developed through this study, can efficiently extend the service life of concrete structures. As a result, the life cycle cost should be reduced and the waste of material resources would be cut down.

keywords : Concrete Structures, Deterioration, Durability, Service Life, Surface Treatment System

1. 서론

콘크리트 구조물의 적용범위가 확대되고 기존구조물의 공용연수가 증가됨에 따라 콘크리트 구조물의 외기 환경은 과거에 비하여 열악한 현실에 있다. 서울특별

시에 위치한 콘크리트구조물의 건립도 정기자료에 의하면 우리나라 콘크리트 구조물의 주요 열화원인은 염화물과 중성화이며 이로 인하여 철근의 부식이 심각히 우려되고 있는 상황이다.¹⁾ 특히, 도심지 콘크리트 구조물은 Fig. 1과 같이 대기 중의 온실가스 증가로 인

* 정회원, 서울과학기술대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 서울과학기술대학교 토목공학과 박사과정

E-mail : millbug@sidaa.uos.ac.kr 02-2210-2956

• 본 논문에 대한 토의료 2002년 11월 30일까지 학회로 보내 주시면 2002년 10월호에 토론편지를 게재하겠습니다.

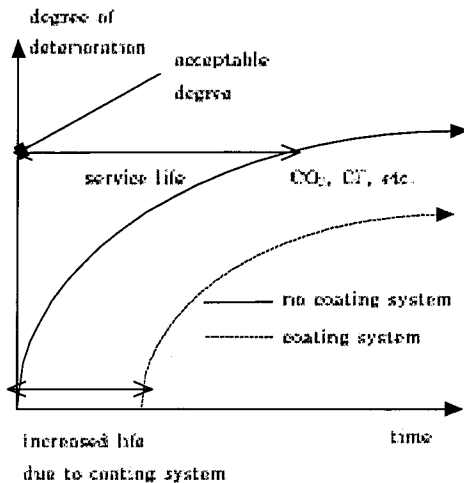


Fig. 1 Outline of concrete deteriorations

한 중형화 현상의 가속화와 용병제 살포에 의한 염화물 침투의 복합염화 현상을 동시에 받고 있어 내구수명이 크게 단축될 수 있으나 조기에 예방한다면 우수한 성능유지 효과를 얻을 수 있다.

따라서 시공 중 콘크리트 자체의 품질관리 뿐 아니라 표면처리와 같은 적극적인 유지관리 대책을 모색하여 구조물의 신설초기부터 염화에 대한 예방효과를 극대화하고 콘크리트 구조물의 안전성을 증진시키는 방안이 필요하다.

최근, 신진화국을 중심으로 표면처리 공법의 종류 및 보유성능은 다양화되고 있으며 성능의 신뢰성의 입증으로 지속적으로 시공사례가 증가되고 있을 뿐만 아니라 이에 따른 품질기준과 시공공법이 지속적으로 체계화되고 있다. 그러나 우리나라의 경우는 아직까지 표면처리 공법의 적용사례가 많지 않으며 성능평가 및 판단기준이 부재하여 우수한 품질의 표면처리재료 선정과 시공에도 어려움이 많은 실정이다.

그래서 본 연구는 염화에방 및 염화를 극대화하여 내구수명을 연장하기 위한 방안을 착안하게 되었으며 시멘트를 베이스로 한 폴리머 슬러리를 예비실험과 내구성 실험을 수행하여 국내 콘크리트 구조물의 현상에 적합한 표면처리재료를 연구자 하였다.

2. 실험개요

2.1 예비실험

(1) ISAT(Initial surface absorption test)

British Standard 1881에 준하여 시간의 경과에 따른 콘크리트 표면부의 수분 흡수량을 산정하여 단위면적에 ISAT Value를 산정하였다.

(2) 부하강도

압축강도가 약 350kgf/cm² 이상이고 면적이 50×100×100cm인 비담 실험체를 제작하고 표면처리공법을 적용 한 후, 3일 동안 기중양생 하여 KS F 4715 기준에 따라 부하강도를 측정하였다.

2.2 기초물성실험

(1) 압축강도

5×5×5cm 입방체 공시체를 제작하여 재령 3일, 7일, 28일까지 기중양생한 후, KS L 5105 기준에 따라 압축강도를 측정하였다.

(2) 열팽창계수

2.54×2.54×28.575cm의 정방형 공시체를 제작하여 ASTM D 696과 KS F 2424에 준하여 열팽창계수를 측정하였다.

2.3 내구성 실험

(1) 화학약품 저항성실험

5% H₂SO₄와 10% Na₂SO₄ 수용액에 실험체를 침지하여 부하강도 실험기준에 따라 촉진재령 28, 56일까지의 부하강도를 측정하였다.

(2) 염화물 확산실험

28일 표준 양생한 두께 5mm, 직경 100mm와 표준모르타 디스크에 표면처리재료를 2mm로 도포한 후, Fig. 2와 같이 Cell A는 NaCl 6.5%, Cell B는 증류수를 채운 후 3개월 동안 침투된 염화물의 농도를 Salt-meter로서 측정하여 식(1)과 같이 염화물 침투 확산계수를 구하였다.

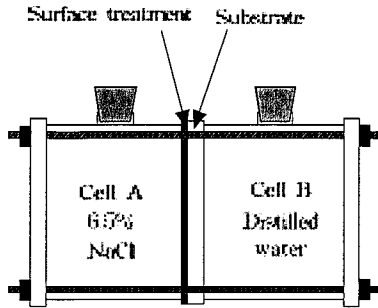


Fig. 2 System for chloride bonding test

$$D_m = \frac{\Delta Q_m}{\Delta t} \frac{l}{\Delta C_m} \quad (1)$$

여기서,

D_m : 모르타르의 확산계수

ΔQ_m : 침투가 일정한 시간 사이에 침투된 염화물량

l : 모르타르 디스크의 두께

ΔC_m : Cell A와 B의 염화물 농도차

Δt : 침투속도가 일정한 구간의 시간

(3) 증성화 실험

28일 수중 양생한 $5 \times 5 \times 5 \text{cm}$ 공시체에 2mm 로 표면도포 후, 온도 50°C , 상대습도 50% 및 CO_2 농도 10%(Vol.) 조건으로 증성화 촉진을 행하여 제방에 따라 레놀프탈레인-암모늄 용액법으로 증성화깊이를 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 예비실험 결과

(1) 부착강도

표면처리재료는 구조물의 표면에 추가적으로 시공하기 때문에 기존 구조체의 일체화 거동을 보장하기 위해서는 구체의 인장강도 보다 높은 부착강도가 필요하다.

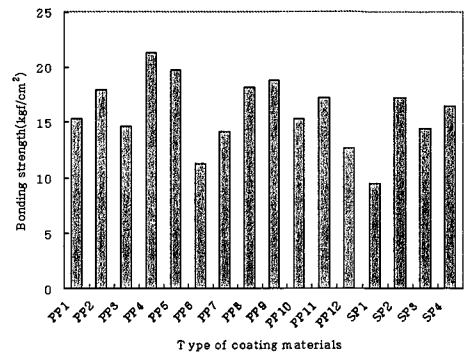


Fig. 3 Bonding strength of coating materials

부착강도 실험결과를 정리한 Fig. 3에서 본말형 폴리머 배합인 PP4, PP5, PP9가 각각 21.3, 19.7, 18.8 kg/cm^2 로 측정되어 석상형 폴리머 배합인 SP계 염보다 우수한 성능을 보였다. 결과적으로 SP1을 제외한 모든 배합이 10kg/cm^2 이상의 부착강도를 보여 사용상에 문제는 없을 것으로 판단된다.

(2) ISAT

표면처리재료는 열악한 환경에 처한 콘크리트 구조물을 외부환경으로부터 안정하게 보호하는 것이 주요 목적이므로 효과적인 보호성능을 확보하기 위해서는 우수한 내침투성이 보장된 표면처리재료의 선정 및 시공이 매우 중요하다.

배합에 따른 ISAT 실험결과를 정리한 Fig. 4에서 2시간 실험의 결과, 본말형 폴리머 계열의 배합에서는

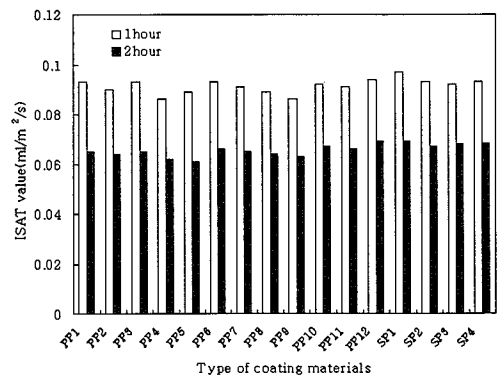


Fig. 4 ISAT result of coating materials

PP5, PP4, PP9가 각각 0.061, 0.062, 0.063 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ 로 수분흡수율이 매우 낮았으며 역상형 폴리머를 사용한 SP2, SP3, SP4도 0.057~0.058 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ 로 우수한 침투저항성을 보여 하부에 인접도료가 있는 교차로 노각이나 하수암거와 같은 열악한 환경에 위치한 구조물의 표면치리에 적합할 것으로 판단된다.

3.2 기초물성실험

(1) 압축강도실험

표면처리재료는 콘크리트 부재의 최외부에 시공되기 때문에 외기 환경으로부터 발생할 수 있는 여러 조건으로부터 부재와의 마찰 및 파손을 방지할 수 있어야 하며, 이를 위해서는 강도부재가 아니라도 구체 콘크리트 이상의 압축강도가 필요하다.

그래서 압축강도실험은 부화강도와 ISAT실험 결과를 바탕으로 우수한 결과를 보인 PP4(이하 A로 약함), PP9(이하 B로 약함)와 역상형 폴리머가 혼합된 SP2(이하 C로 약함)를 선택하여 실시하였고 비교정가를 위하여 표준모르타르(이하 OPM으로 약함)를 추가적으로 실험하였다.

압축강도 실험 결과를 정리한 Fig. 5에서 3일 강도는 모든 배합이 198~244 kg/cm^2 으로 유사한 강도를 보였지만 7일 이후는 A배합을 제외하고는 OPM 배합보다 높은 강도가 발휘되었으며 제령 28일에서는 역상형 폴리머를 사용한 C배합은 OPM에 비하여 약 2.3배의 높은 강도를 보여 우수한 공용성능이 기대된다.

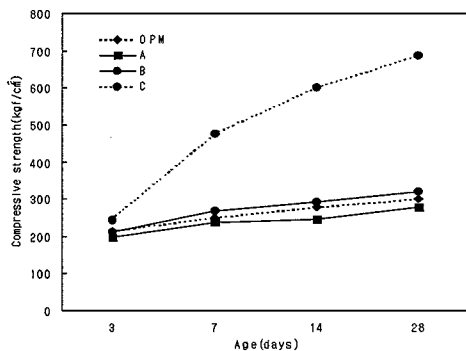


Fig. 5 Compressive strength of coating materials

(2) 열팽창계수

기존의 콘크리트와 표면처리재료의 장기적인 밀착과 거동을 보장하기 위해서는 콘크리트와 열팽창계수가 유사하여 온도변형에 의한 계면의 전단파괴 현상이 발생하지 않아야 한다. 열팽창계수 실험결과를 정리한 Fig. 6에서 기준치인 OPM에 비하여 A배합은 4%정도 크게 나타났지만 B와 C배합은 $\pm 2\%$ 로 유사하였다. 본 연구에서 개발된 표면처리 재료는 시멘트계 재료와 폴리머계 재료의 최적 배합으로 열팽창 특성을 상세시켜 기존 콘크리트의 표면 도장재료로 사용할 경우 우수한 적합성을 보인 것으로 판단된다.

3.3 내구성실험

(1) 화학약품저항성 실험

표면처리재료는 열악한 환경에 노출되거나 공용중인 구조물의 보호를 위해서 시공되는 피복재료 이므로 일반적인 구조재료보다는 화학적으로 심각한 부식 환경에 위치하는 경우가 많다. 본 연구에서는 도실지 구조물이나 토양과 직접 접촉하고 있는 지하구조물 및 하수암거 구조물에 높은 농도로 발생할 수 있는 황산염 및 황산 수용액에 대한 열화저항효과를 고찰하기 위하여 침지제방별로 표면처리재료의 부화강도를 평가하였다.

5% H_2SO_4 수용액에 침지한 실험체의 부화강도 감소율을 정리한 Fig. 7을 보면 침지제방 28일에서는 모든 표면처리재료가 초기치의 53~58%로 유사한 결과를 보였다.

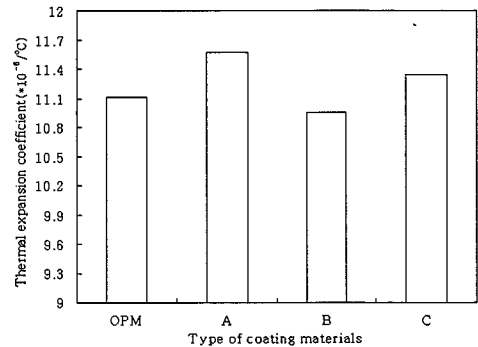


Fig. 6 Thermal property of coating materials

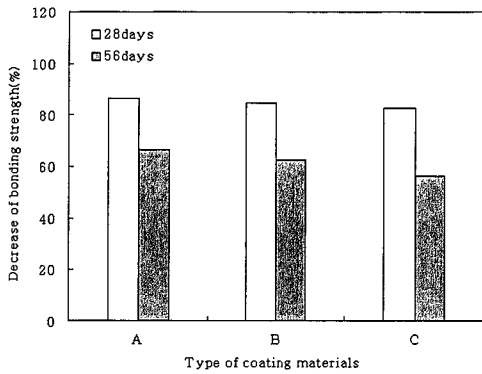


Fig. 7 Bonding strengths in H₂SO₄ solution

그러나 침지 56일에서는 A와 B배합은 각각 68%, 63%로 측정되었고 액상형 폴리머를 사용한 C배합은 56% 수준으로 강도감소율이 비교적 높았다.

한편, 10% Na₂SO₄ 수용액에서의 부착강도 감소율을 정리한 Fig. 8에서 제명 28일에서 모든 배합이 초기치의 86~102%로 측정되었으며 제명 56일에서는 A, B, C 배합이 각각 85%, 70%, 72% 정도로 측정되어 배합에 따른 화학저항성 차이가 비교적 작았다.

궁극적으로 부착강도를 이용하여 표면처리재료의 화학저항성을 종합적으로 판단해 볼 때, A배합이 화학약품의 용액과 침지제형에 관계없이 가장 우수한 결과를 보여 화학적으로 열악한 환경에 위치한 콘크리트 구조물의 표면처리재료로서 적합할 것으로 판단된다.

(2) 염화를 확산계수

도심지 교통의 원활화를 위하여 고가교와 밑채교차로의 건설이 증가하면서 운행차량으로 인한 음빙제 비산으로 주변 교로의 염화물의 확산 및 이에 따른 침식 현상은 심각한 수준이다. 따라서 주변의 염화를 환경으로부터 표면처리재료의 내구성 유지성능을 고찰하고자 농도차 확산법을 구성하여 시험실능을 평가하였다.

Fig. 9는 염화를 확산법을 이용하여 산정한 염화물 확산계수를 정리한 것으로 표면처리재료 A는 제명에 관계없이 OPM의 약 1/5 수준의 결과를 보였으며 B와 C는 약 1/3 정도를 나타냈다. 전체적으로 분말형 폴리머를 사용한 표면처리제의 차염성이 높았으며 표면처리재료 A는 제명이 증가함에 따라 확산계수의 강

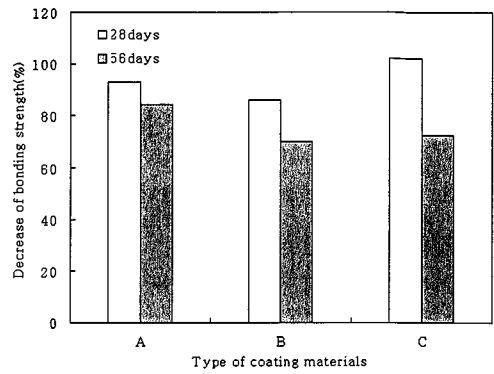


Fig. 8 Bonding strengths in Na₂SO₄ solution

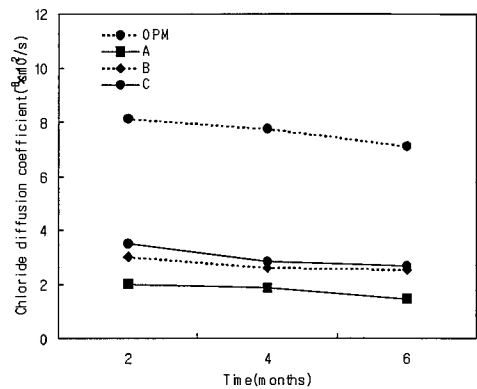


Fig. 9 Chloride diffusion coefficient with times

도가 뚜렷하여 해양환경이나 음빙제 살포가 빈번한 도심지 교량구조물의 표면처리재료로서 적합할 것으로 판단된다.

(3) 증성화 저항성

콘크리트의 증성화 현상은 시멘트의 제작과정에서 인위적으로 변환시킨 화학 조성물이 대기 중의 이산화탄소와 화학반응을 일으켜 기존의 상태로 회귀하려는 시간의존적인 자연현상이다. 더욱이 도심지의 차량증가, 인구증가, 대형 지하구조물의 증가 등으로 콘크리트가 접하는 환경의 이산화탄소 농도가 크게 증가하고 있어 이로 인한 내구성 저하가 심각한 수준이다. 따라서 표면처리재료의 주요성능 중의 하나는 대기중의 이

산화탄소 침투를 차단하여 증설화의 진행성을 억제해야 한다.

그에서 증설화 촉진환경에서 증설화 깊이를 정리한 Fig. 10을 보면 촉진재형 3개월의 경우 A, B, C는 각각 OPM의 0%, 10%, 20%로 나타났으며 재형 6개월의 경우는 A, C, B가 각각 OPM의 16%, 32%, 53%로 3개월에 비하여 증설화 저항성이 다소 감소하였다. 그러나 A의 경우는 촉진재형에 관계없이 높은 증설화저항성을 보였는데 특히 3개월 촉진시에는 전혀 증설화가 진행되지 않음을 알 수 있어 유해가스가 심한 지하구조물이나 자동차의 배기가스로 인한 염화가 심각히 우려되는 터널 구조물의 표면처리용으로 적합할 것으로 판단된다.

4. 결 론

콘크리트 구조물의 내구성 증진을 위한 표면처리재료의 개발을 위하여 예비시험결과와 경제성을 토대로 PP4(A), PP9(B), SP21(C)을 선별하고 기초품질시험과 장기 내구성 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압축강도는 계형 3일에서는 모든 표면처리재료가 OPM에 비하여 $\pm 15\%$ 이내로 유사하였지만 계형이 증가하면서 강도 증진효과가 크게 나타났다. 열팽창계수는 OPM에 비하여 $\pm 5\%$ 이내의 유사한 결과를 보여 현장 시공시 기존의 콘크리트 구조물과의 적합성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.
- 2) 화학약품 저항성과 증설화 저항성은 모든 재료가 OPM에 비해서는 우수하였으며 분말형 폴리머를 사용한 A가 화학약품에 대한 부하강도 감소율이 현저히 작았다. 차염성을 평가하기 위한 염화물화산계수는 A가 OPM의 약 1/5를 나타냈으며 B와 C도 약 1/3수준을 나타내어 충분한 차염성을 보였다.
- 3) 본 연구결과, 표면처리재료의 단기특성은 역상형 폴리머를 사용한 C가 우수하였지만 장기내구특성을 종합적으로 고찰해 보면 분말형 폴리머를 사용한 A가 도심환경에 시공 및 중용중인 콘크리트 구조물의 표면처리재료로서 적합할 것으로 판단된다.

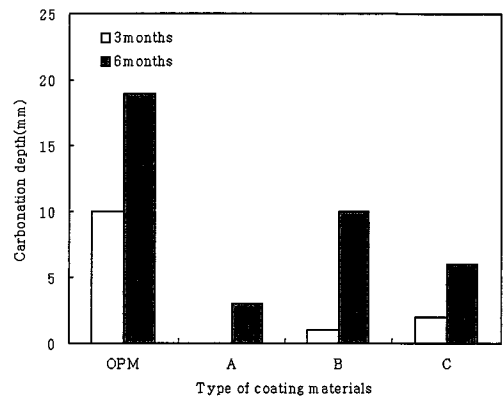


Fig. 10 Carbonation resistance of coating materials

참 고 문 헌

1. 이창수, 심진철, 윤인석, "저유시내 140개 철근콘크리트 교량의 내구성 현황분석," 한국구조물진단학회 논문집, 제4권 3호, 2000, pp. 161-168.
2. 이창수, "복개구조물용 보수세멘트의 성능평가," 한국구조물진단학회 논문집, 제6권 제1호, 2002, pp. 205-212.
3. 건설교통부, "콘크리트 교량의 보수-보강방법의 표준화," 1999.
4. K.S. Reblz, "Precast use of Polymer Concrete using Unsaturated Polyester resin based on recycled PET Waste," Construction and Building Materials, Vol. 10, No. 3, 1996, pp. 215-220.
5. O. Figovsky, "Development of Polymer Concrete with Polybutadiene Matrix," Cement and Concrete Composites, Vol. 18, 1996, pp. 437-444.
6. ACI Committee 546, "Concrete Repair Guide," ACI Manual of Concrete Practice, 1997.
7. ACI Committee 548, "Guide for Polymer Concrete Overlay," ACI Manual of Concrete Practice, 1997.
8. P.H. Emmons et al., "System Concept in Design and Destruction of Durable Concrete Repairs," Construction and Building Materials, Vol. 10, No. 1, 1996, pp. 69-75.
9. J.G. Cabrera et al., "Performance Properties of Concrete Repair Materials," Construction and Building Materials, Vol. 11, No. 5-6, 1997, pp. 283-290.
10. Y. Ohama, "Polymer-based materials for repair

-
- and improved durability: Japanese experience." *Construction and Building materials*, Vol. 10, No. 1, 1996, pp. 77-82.
11. Y. Ohama, "Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars," NOYES PUBLICATION, 1995, pp. 11-16.
12. R.T.L. Allen et al., "The Repair of Concrete Structures," Chapman & Hall, 1993, pp. 37-66.
13. D.W. Fowler, "Polymers in Concrete: a Vision for the 21st century," *Cement and Concrete Composites*, Vol 21, 1990, pp. 449-452.
14. J.H. Kim et al., "Structure and Properties of Poly(Vinyl Alcohol) - Modified Mortar and Concrete," *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, 1999, pp. 407-415.
15. J.W. Chan, "Materials Aspect of Fiber-reinforced Polymer Composites in Infrastructure," NISTIR 5886, NIST.
16. 片岡浩士, "最近のコンクリート助働と補修技術," 山海堂, 2000.
17. 天治邦一, 根本 徹, 瀬川光男, "表面被覆材をよび浸透性吸水防止材による鉄筋コンクリート造陸路止水増進効果に関する一実験," *コンクリート工学会-学術論文報告集*, 1991.

(접수일자 : 2002년 2월 26일)