콘크리트 보수재료로서 도포형 표면강화물질 검토

A Study on the Surface-Treatment Agent as Concrete Repair Materials

김 도 겸* 고 경 택* 김 성 욱**** 류 금 성** 이 장 화***
Kim, Do Gyeum Koh, Kyung Taeg Kim, Sung Wook Ryu, Gum Sung Lee, Jang Hwa

ABSTRACT

We examined the silicate-based material to develop the surface-treatment agent, which would be used to restore performance of the deteriorated concrete and to inhibit corrosion of the reinforcing bar. As a part of the study, we carried out experiments of the penetration and strengthening properties of concrete treated by the considering agent. The variables of experiment, were the type of silicates, the ratio of distilled water-silicate, the usage of surface-strengthening material, and the usage of biochemical material. The penetrating ability of concrete is assessed by viscosity and surface tension. Also assessments of strengthening effects of concrete are performed on compressive strength, absorption, and water permeability tests.

1. 서 론

콘크리트는 내구성이 우수하고 경제적이기 때문에 강재와 더불어 건설재료로서 가장 널리 사용되어 왔다. 그러나 최근 들어 여러 연구결과와 현장점검에 의하면 주변 환경에 따른 성능저하 작용으로 인하여 콘크리트의 내구성이 저하되고 구조물의 공용성과 안전성에 심각한 문제가 발생되고 있는 것으로 보고되고 있다. 이에 따라 콘크리트 구조물의 보수가 활발히 시행되고 있지만, 종래의 수지계와 시멘트계를 사용한 측면에서 보수공법은 보수효과 측면에서 성능이 제한적이다. 이러한 보수성능 개선을 위해서 국내에서도 최근 철근의 부식억제효과 및 콘크리트의 pH 회복, 구체강화 등의 콘크리트의 성능개선을 함께 이룰 수 있는 신개념 보수재료를 사용하고 있다. 그러나 이러한 신개념의 보수재료는 거의 외국제품에 의존하고 있으며 역학적, 물리적 성능에 대한 검증 없이 적용되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 철근부식을 억제하고 열화물질을 고정화하거나 억제함은 물론 콘크리트의 내구성능을 회복시킬 수 있는 콘크리트 표면처리형 성능개선재를 개발하기 위한 1단계로서 표면강화물질의 종류와 적용량에 따른 침투성능과 구체강화 성능을 검토하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원 연구원
*** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원
**** 정회원, 한국건설기술연구원 그룹장

2. 침투력 개선 및 구체강화 성능실험

2.1 실험개요

본 연구에서는 우선 도포형 구체강화물질인 실리케이트의 종류, 증류수-실리케이트 비, 생화학물질의 첨가 유무에 따른 압축강도, 투수성 및 흡수율실험을 실시하였다. 또한 추가적으로 구체강화재만으로는 콘크리트 내부에 침투가 어려우므로 침투를 용이하게 하기 위하여 침투강화제를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 구체강화물질의 물성 및 종류를 표 1에, 콘크리트 배합을 표 2에 나타내었다.

표 1 구체강화물질 종류 및 물성

구 분		물 성
실리케이트	A	비중 1.26, 나트륨 6%, 실리카 23%
	B	비중 1.38, 나트륨 9%, 실리카 28%
침투강화제		고형분 40%, 비중 1.06, 발화점 22℃
생화학물질		pH(1% 수용액) 7.2, 수분함량 7.01%

표 2 콘크리트 시방배합

W/C (%)	S/a (%)	Air (%)	Slump (cm)	Unit content(kg/m³)				
				W	C	S	G	AE
54.9	47.7	4.5	10	168	306	871	963	0.92

2.2 실험방법

구체강화재를 콘크리트 표면에 도포하였을 경우 콘크리트 내부로의 침투력은 점도와 표면장력에 의해 좌우되므로 침투력 평가는 점도와 표면장력시험으로 하였다. 점도시험은 KS M 3705의 단일원통 회전점도계에 의한 방법에 준하여 실시하였으며 사용된 기기는 브룩필드 점도계(Brookfield viscometer DV-II+)이다. 그리고 표면장력시험은 링법에 기초를 둔 Du Nouy 장력계를 사용하였다. 또한 구체강화재에 구성물질의 종류와 양에 따른 구체강화성능을 검토하기 위해 공시체에 구체강화재를 도포하여 23℃에서 3일간 습윤양생(살수에 의해 충분한 수분 공급)을 실시한 후 다시 4일간 기건양생(23%, 55%R.H)한 다음, 압축강도, 흡수율 및 투수성실험을 실시하였다. 흡수율실험에서 일방향 침투을 유도하기 위하여 시험체의 측면을 에폭시로 코팅을 하였으며, 시험이 끝난 다음 시험체를 이등분으로 할렬하여 그 면에 수분 흡수깊이 측정용 시약을 뿌려 흡수깊이를 측정하였다. 투수성실험에 사용된 시험체는 200×200×100㎜의 직육면체 콘크리트 공시체에 구체강화재를 도포한 후 3일간 물을 분무하였으며 4일간은 기건양생을 한 다음 투수측정시험기를 사용하여 실험하였다.

3. 침투력 개선 실험결과 및 분석

3.1 증류수-실리케이트 비의 영향

<그림 1>은 실리케이트는 A를 사용하고 침투강화제는 불소계-비이온계 0.01%를 사용한 경우, 증류수-실리케이트 비의 변화에 따른 점도와 표면장력을 나타낸 것이다. 실험결과에 따르면, 증류수-실리케이트 비가 클수록 점도 및 표면장력이 낮아지는 것을 알 수 있다. 그러나 증류수-실리케이트비가 60% 이상부터 표면장력이 증가되는 경향을 나타내므로 침투력 측면에서 증류수-실리케이트 비는 30~60%범위에서 선택하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

3.2 침투강화제의 영향

<그림 2>는 침투강화제의 양에 따른 침투력의 차이를 나타낸 것으로서 침투강화제를 1%까지 변화시켜도 점도는 별 차이를 나타내지 않지만, 표면장력은 침투강화제의 양이 많을수록 감소되어 침투력이 향상되는 것을 알 수 있었다. 이처럼 침투강화제를 첨가하면 표면장력이 저하되는 것은 침투강화제의 소수기는 물을 멀리하는 성질이 있으므로 수면에 모여서 물 밖의 공기 쪽으로 이동하고 친수기는 수중으로 이동함에 따라 물과 공기 사이의 접촉면을 줄이려는 성질을 갖고 있기 때문이다. 하지만 침투강화제의 양이 어느 한계를 초과하면 미셀(micelle)이라는 집합체를 형성하여 표면장력이 역으로 증가하게 된다.

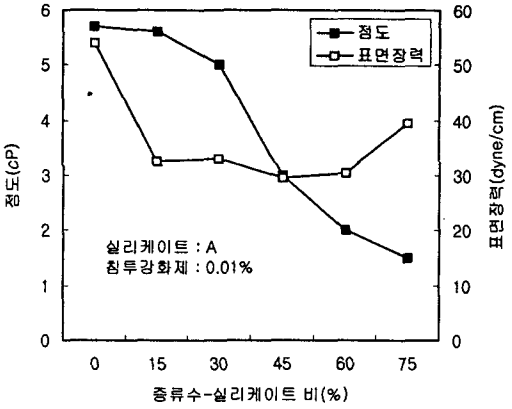

그림 1. 증류수-실리케이트 비의 영향

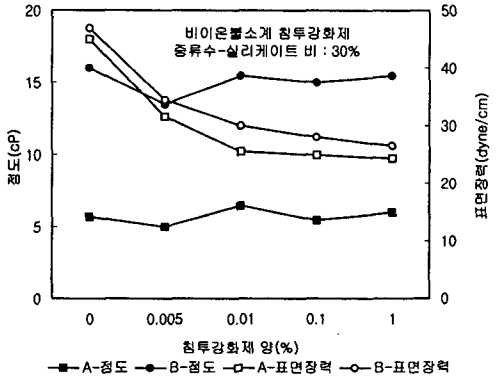

그림 2. 침투강화제의 영향

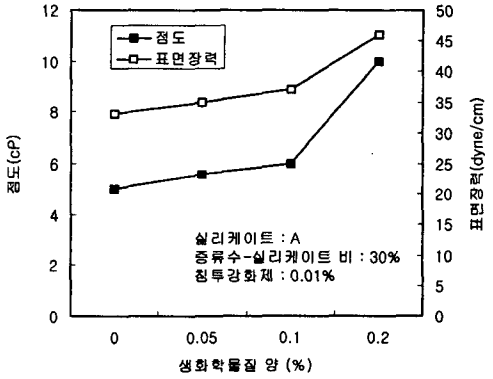

그림 3. 생화학물질의 영향

3.3 생화학물질의 영향

<그림 3>은 증류수-실리케이트비는 30%, 침투강화제는 불소계-비온계 0.01%, 실리케이트는 A종을 사용한 경우, 생화학물질을 0, 0.05, 0.1, 0.2%로 변화시킴에 따른 점도 및 표면장력의 차이를 나타낸 것이다. 실험결과에 따르면 0.1%까지는 점도 및 표면장력이 크게 증가되지 않으나 0.1%이상에서는 급격히 증가됨을 알 수 있다.

4. 구체강화 실험결과 및 분석

4.1. 압축강도

<그림 4>는 실리케이트는 A, 침투강화제는 0.01 %를 사용한 경우, 증류수-실리케이트 비에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 압축강도 160kgf/㎠에 구체강화재를 도포한 결과, 증류수-실리케이트 비

에 관계없이 압축강도가 모두 증진되었다. 특히 증류수-실리케이트 비 30%, 45%에서 효과가 크게 나타났다. 이처럼 구체강화재를 콘크리트에 도포함으로써 강도가 증진된 것은 실리케이트가 콘크리트 내부로 침투하여 콘크리트 수화생성물인 수산화칼슘과 반응하여 규산염(C-S-H)를 생성하여 콘크리트 조직이 치밀해지기 때문으로 판단된다. 그리고 증류수-실리케이트 비 30%, 45%가 다른 증류수-실리케이트 비보다 강도증진 효과가 큰 것은 증류수-실리케이트 비 0%, 15%에서는 점도와 표면장력이 증가되어 침투력이 저하됨으로써 콘크리트와 반응이 적었기 때문이고 증류수-실리케이트 비 60%, 70%에서는 실리케이트 성분이 적어 콘크리트 수화생성물인 수산화칼슘과 반응이 많이 일어나지 않았기 때문으로 판단된다.

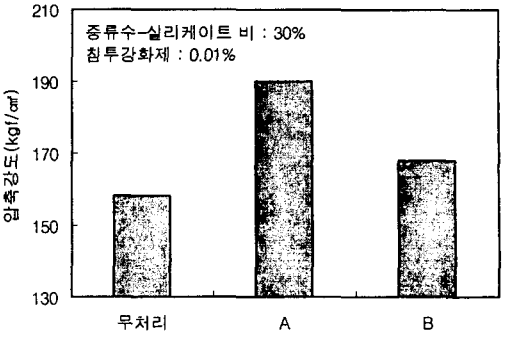

그림 11. 실리케이트 종류가 강도에 미치는 영향

<그림 5>는 실리케이트는 실리카-나트륨의 구성비가 다른 A, B, 증류수-실리케이트 비는 30%, 침투강화제는 0.01%를 사용한 경우, 실리케이트 종류에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 시험결과에 따르면 무처리 콘크리트에 비해 구체강화재를 처리한 경우 실리케이트 종류에 상관없이 압축강도가 증진되었으며, B종보다 A종의 효과가 큰 것으로 나타났다. 이것은 실리케이트의 실리카-나트륨의 구성비와 점도 및 표면장력의 침투력에 관계된 것으로 추정된다. 즉, 실리케이트 성분에 실리카-나트륨의 구성비가 클수록 수산화칼슘과 반응이 많아 조직이 치밀해진다. 또한 B보다 A가 침투력이 뛰어나 콘크리트와 반응을 많이 했기 때문으로 판단된다.

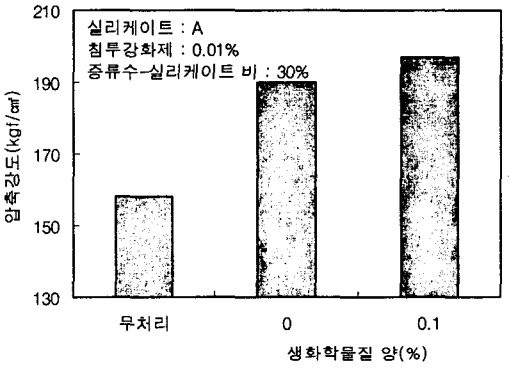

그림 12. 생화학물질 첨가유무가 강도에 미치는 영향

<그림 6>은 생화학물질은 0.1%, 실리케이트는 A종, 증류수-실리케이트 비는 35%, 침투강화제는 0.01%를 사용한 경우, 생화학물질의 첨가 유무에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 실험결과에 따르면 생화학물질을 첨가한 경우 압축강도가 증진됨을 알 수 있다. 이처럼 생화학물질을 사용함으로서 콘크리트의 강도가 증진되는 것은 생화학물질 성분 중에 나트륨이온과 콘크리트 성분 중에 칼슘이온이 반응하여 규산칼슘(C-S-H)을 생성하여 콘크리트 조직이 더욱 치밀해졌기 때문으로 추정된다.

이상의 실험결과를 종합하면, 증류수-실리케이트 비는 30%, 45%, 실리케이트는 실리카-나트륨의 구성비가 큰 A종이 압축강도증진에 유리하며 또한 여기에 생화학물질을 첨가함으로써 압축강도증진 효과가 더욱 향상되는 것을 알 수 있다.

4.2. 흡수율

<그림 7>은 실리케이트는 A, 침투강화제는 0.01%를 사용한 경우, 증류수-실리케이트 비가 흡수율에 미치는 영향을 검토하기 위해 48시간 동안 흡수율를 나타낸 것이다. 실험결과에 따르면 증류수-실리케이트 비가 너무 크면 콘크리트와의 반응이 적어 구체를 강화시키지 못하며, 증류수-실리케이트

비가 너무 작으면 콘크리트 내부에 침투하는 능력이 저하되어 콘크리트와의 반응이 적어 구체를 강화시키지 못하는 것으로 판단된다. 실험결과에 의하면 흡수율 측면에서 증류수-실리케이트 비 30%와 45% 정도가 가장 적당한 것으로 나타났다.

<그림 8>은 흡수율실험이 끝난 후 시험체를 이등분으로 할렬하여 그 면에 수분 침투 측정용 시약을 뿌려 흡수깊이를 나타낸 것이다. 실험결과에 따르면 콘크리트 시험체의 흡수깊이는 증류수-실리케이트 비에 상관없이 무처리 시험체보다 물이 침투가 되지 않고 있으며, 특히 증류수-실리케이트 비 30%에서 물의 침투가 거의 되지 않아 흡수율실험과 동일한 결과를 얻었다. 즉, 흡수율 측면에서 증류수-실리케이트 비 30%가 가장 효과적이라고 판단된다.

<그림 9>는 실리케이트의 친수성을 고려하여 24시간 흡수, 24시간 건조를 반복실험을 실시하여 증류수-실리케이트비가 흡수율에 미치는 영향을 검토한 결과이다. 건습반복에 의해 증류수-실리케이트 비에 따른 흡수율은 더욱 큰 차이를 보이고 있다. 즉, 콘크리트 내부로 침투된 실리케이트는 친수성을 갖고 있으므로 초기에는 물을 흡수하는 양이 많아 흡수율이 크게 보이나, 건습반복이 됨에 따라 실리케이트가 물을 흡수하는 양이 적어져 흡수율의 차이가 크게 나는 것으로 판단된다. 건습반복 흡수율실험에서도 증류수-실리케이트 비 30%와 45%가 가장 효과가 큼을 알 수 있다.

이상과 같이 증류수-실리케이트 비가 흡수율에 미치는 영향을 검토한 결과, 증류수-실리케이트 비 30%와 45%가 가장 양호한 결과를 얻었으며, 건습반복 흡수율에 의해 실리케이트의 친수성을 확인했다.

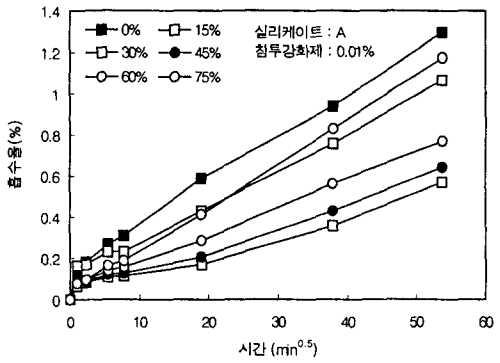

그림 7. 흡수율 결과

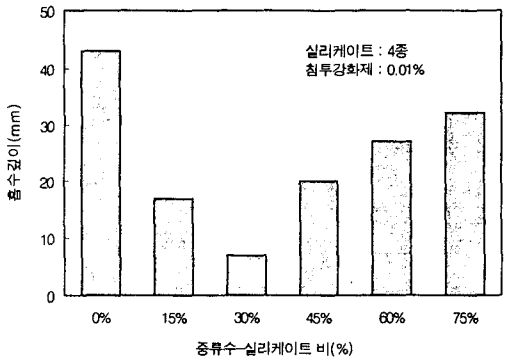

그림 8. 흡수깊이 결과

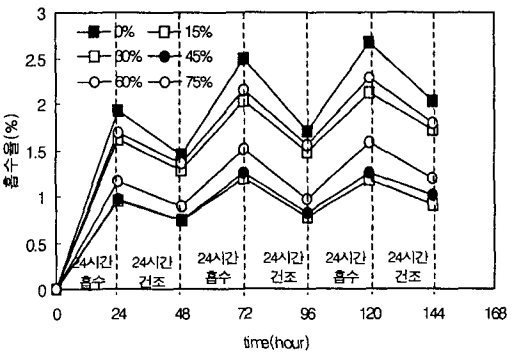

그림 9. 흡수-건조반복실험 결과

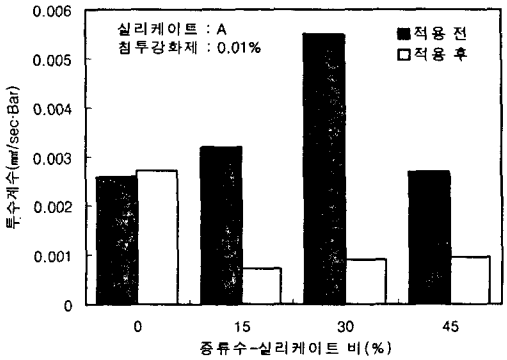

그림 10. 투수성실험 결과

4.3 투수성실험 결과

<그림 10>은 증류수-실리케이트 비에 따른 투수성의 차이를 나타낸 것으로서, 실험결과에 따르면 증류수-실리케이트 비가 0% 즉, 실리케이트 A의 원액을 사용한 경우에는 수밀성 증진에 효과가 없는 것으로 나타났다. 이처럼 증류수-실리케이트 비 0%의 경우 수밀성 증진에 효과가 없는 것은 점성과 표면장력이 너무 크기 때문에 침투력 저하에 의해 콘크리트 내부에 실리케이트가 침투가 되지 않았기 때문으로 판단된다. 그러나 증류수-실리케이트 비 15%, 30%, 45%인 경우에 도포한 전과 후에 투수계수가 상당히 감소하고 특히 30%에서 그 효과가 현저히 나타났다.

이상과 같이 증류수-실리케이트 비가 투수성에 미치는 영향을 검토한 결과, 증류수-실리케이트 비 30%가 수밀성 증진에 가장 효과가 있는 것으로 확인되었다.

4. 결 론

(1) 구체강화재의 침투력을 평가하기 위해 점도와 표면장력을 검토한 결과, 실리케이트는 실리카-나트륨의 구성비가 큰 A, 증류수-실리케이트 비는 30~45%, 참투강화제는 불소계 0.01%정도가 침투력 측면에서 가장 적합하며, 생화학물질은 0.1%까지 침투력에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

(2) 콘크리트 표면 성능개선제의 구체강화 성능을 평가하기 위해 실리케이트 종류, 증류수-실리케이트 비, 생화학물질 첨가 유무의 영향을 검토한 결과, 실리카-나트륨의 구성비가 큰 A의 실리케이트, 증류수-실리케이트 비 30%, 생화학물질 첨가가 구체강화 성능 향상에 가장 효과가 있는 것으로 나타난다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 주관하는 "2000년도 산·학·연 공동연구개발사업"을 수행함으로써 얻어진 연구결과의 일부이며, 저자들은 본 연구에 대한 후원에 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

1. 竹內節, 吸着の化學-表面制御のテクノロジ-, 産業圖書, 1995
2. Lind A. and Andersson J., "Solubilization of benzene derivatives in silicate-surfactant system", Colloids and Surfaces, 2001
3. Thompson J. L. and Scheetz B. E., "Characterization of silicate sealers on concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 10, 1997.