

콘크리트 침투강화형 성능개선제 개발

Development for Performance Improving Agent of Penetration in Reinforcing Applied on Concrete

김도겸^{*} 고경택^{**} 류금성^{***} 김방욱^{****} 김성욱^{*****} 이장화^{*****}
Kim, Do Gyeum Koh, Kyung Taeg Ryu, Gum Sung Kim, Bang Wook Kim Sung Wook Lee, Jang Hwa

ABSTRACT

We develop the performance improving agent of penetration reinforcing applied on concrete by which main components use compounds of metal alkoxide and silicate(Ti). Also, we investigate on the type and amount of organic solvent which need the hydrolysis and water condensation reaction of Ti. The penetration reinforcing agent developed this study can penetrate deeper than 50mm without relation to concrete strength. Also the performance improving agent composed of the combination of Ti and organic solvent A, improve performance in keeping out or removal of deterioration material, waterproof and strength.

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, 콘크리트의 pH 회복 및 구체강화 등의 콘크리트의 성능개선을 함께 이룰 수 있는 침투형 보수재료가 사용되고 있으나, 대부분 외국제품에 의존하고 있으며, 역학적, 물리적 성능에 대한 검증 없이 적용되고 있는 실정이다. 또한 침투형 보수재료는 콘크리트 내부로의 침투성능이 중요함에도 불구하고 침투깊이가 불투명하거나 침투가 잘 되지 않는 것으로 지적되고 있다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트 내부에 침투할 수 있는 금속 알킬사이드와 실리케이트 복합물인 Ti

* 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원((주) 콘텍크 대표이사)
** 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 기술원
***** 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원
***** 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 연구위원

를 기본으로 하여 여기에 가수분해와 축합반응을 유도할 수 있도록 유기용매 A를 사용하여 콘크리트의 성능을 개선시킬수 있는 콘크리트 침투강화형 성능개선재를 개발하였다.

2. 개발 시험개요

2.1 사용재료

저자들은 콘크리트 내부에 침투할 수 있는 금속알킬사이드 8가지 물질에 대해 점도, 표면장력 및 콘크리트 침투깊이를 평가한 결과, 금속 알킬사이드와 실리케이트의 복합물 Ti가 콘크리트 강도에 상관없이 50mm이상 침투되어 침투성능이 가장 뛰어난 것으로 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 금속 알킬사이드와 실리케이트의 복합물 Ti를 사용하였으며, Ti는 콘크리트 내에 침투하여 콘크리트와 반응을 하기 위해서 유기용매에 의한 가수분해와 축합반응의 과정을 걸쳐야 하므로 가수분해와 축합반응에 필요한 유기용매의 종류와 농도에 대해 검토하였다.

표 1. 구체강화물질 종류 및 물성

구 성 재 료	물 질	주 요 물 성
금속 알킬사이드와 실리케이트 복합물	Ti	비중 : 1.02, 분자량 : 208.33, 이온반경 : 0.64Å
유기용매	A	비중 : 1.02, 분자량 : 46.07
	B	비중 : 1.03, 분자량 : 30.51
	C	비중 : 1.03, 분자량 : 38.15

2.2 실험방법

콘크리트 침투강화형 성능개선재의 구성재료 비를 선정하기 위해 압축강도, 흡수율 및 염화물 고정화 성능, 중성화 회복 성능 시험을 실시하였다. 압축강도를 제외한 실험들은 시편의 일방향 침투를 유도하기 위하여 측면에 에폭시 코팅을 하였다. 흡수율 시험은 도포면을 물에 잠기도록 하여 무게를 측정하였다. 염화물 고정화 성능시험은 NaCl 3.6% 수용액에 90일간 침지시켜 염화물 이온을 콘크리트 내부에 침투시킨 후 성능개선재를 도포하여 28일간 양생 후 염화물 함유량을 측정하였고, 중성화 회복 성능 실험은 CO₂ 10%, 온도 30±3℃, 습도 60±5%로 90일간 노출시킨 시험체에 성능개선재를 도포한 후 28일에 pH를 측정하여 중성화 회복정도를 평가하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 압축강도

그림 1은 유기용매 종류와 압축강도에 미치는 영향이고, 그림 2는 Ti와 유기용매 A에 대한 질량비가 압축강도에 미치는 영향이다. 그 결과, 유기용매의 종류에 상관없이 효과가 있는 것으로 나타났으나, 그 중 A가 압축강도 증진효과가 가장 뛰어난 것으로 나타났다. 또한 압축강도에 가장 효과가 있는 Ti와 A의 질량비는 1:1로 나타났다. 유기용매에 대하여 금속알킬사이드와 실리케이트 복합물 Ti의 가수분해와 물을 형성하는 축합중합 반응속도는 용매의 분자량이 증가함에 따라 감소하는데 분자량이 가장 큰 A가 압축강도 증진효과가 뛰어난 것으로 판단된다.

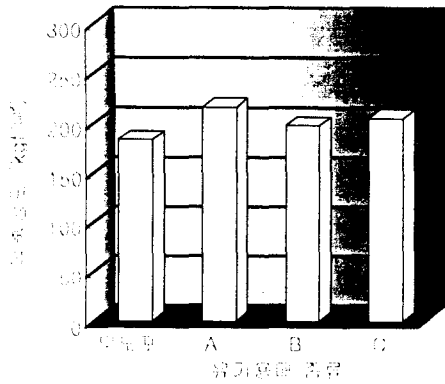


그림 1. 유기용매 종류가 압축강도에 미치는 영향

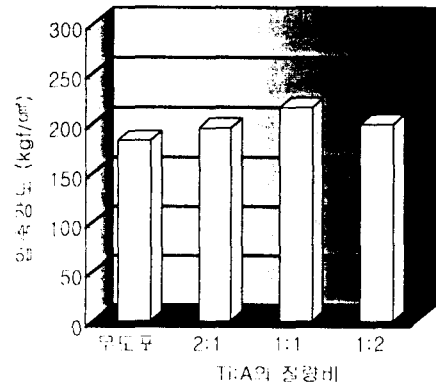


그림 2. 유기용매의 농도가 압축강도에 미치는 영향

3.2 흡수율

그림 3은 유기용매의 종류가 흡수율에 미치는 영향이고, 그림 4는 Ti와 유기용매 A에 해나 질량비가 흡수율에 미치는 영향이다. 그 결과, 금속알킬사이드와 실리케이트 복합물 Ti는 분자량이 큰 유기용매 A, 질량비 1:1로 구성하는 것이 흡수율 측면에서 가장 효과적으로 분석되었다.

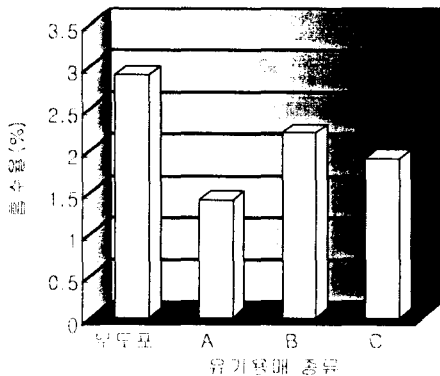


그림 3. 유기용매 종류가 흡수율에 미치는 영향

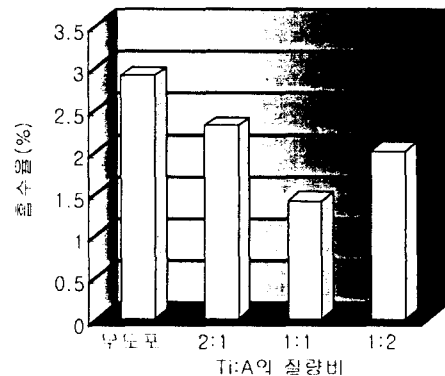


그림 4. 유기용매 농도가 흡수율에 미치는 영향

3.3 염화물 고정화 시험

그림 5는 유기용매 종류가 염화물 고정화에 미치는 영향이고, 그림 6은 Ti와 유기용매 A에 대한 질량비가 염화물 고정화에 미치는 영향이다. 그 결과, 염화물 농도의 감소량은 콘크리트 깊이에 상관없이 감소하고, 특히 유기용매 A를 사용한 경우에 염화물 이온이 상당히 감소되는 것으로 나타났다. 또한 Ti와 A의 질량비는 1:1로 구성하는 것이 가장 효과적으로 나타났다. 이와 같은 결과는 콘크리트 내부에 침투하여 가수분해를 걸쳐 물과 반응하여 규산염 겔($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{NaCl}$)이 형성하여 염화물을 고정화됨으로써 콘크리트 내부에 존재하는 염화물 이온이 감소한 것으로 판단된다.

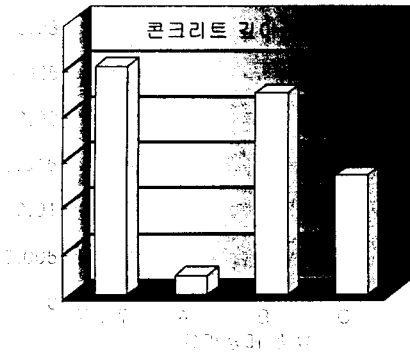


그림 5. 유기용매 종류가 염화물 고정화에 미치는 영향

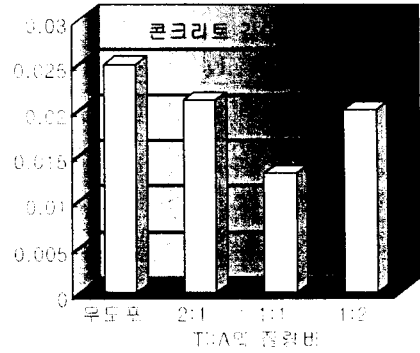


그림 6. 유기용매 농도가 염화물 고정화에 미치는 영향

3.4 중성화 회복 시험

그림 7은 유기용매 종류가 중성화 회복성능에 미치는 영향이고, 그림 8은 Ti와 유기용매 A에 대한 질량비가 중성화 회복성능에 미치는 영향이다. 그 결과, 콘크리트 내부의 pH는 유기용매에 상관없이 상승하고, 특히 유기용매 A를 사용한 경우에 pH 상승 효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 또한 Ti와 A의 질량비는 1:1로 구성하는 것이 가장 효과적으로 나타났다. 이와 같은 결과는 콘크리트 내부에 침투하여 가수분해를 걸쳐 물과 반응하여 강알칼리성인 규산염과 수산화염을 형성하여 콘크리트 내부의 pH를 상승시킴으로써 콘크리트의 중성화가 회복되는 것으로 판단된다.

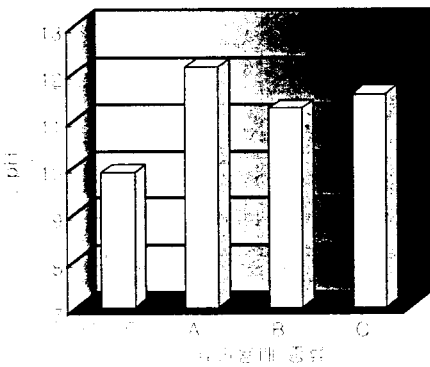


그림 7. 유기용매 종류가 중성화 회복성능에 미치는 영향

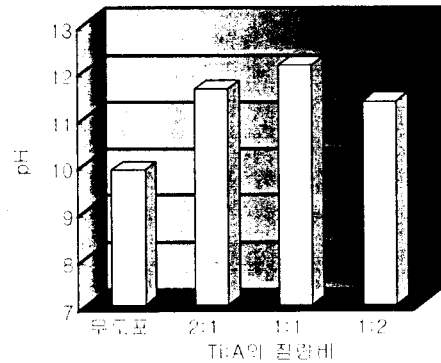


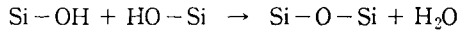
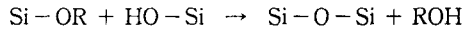
그림 8. 유기용매 농도가 중성화 회복성능에 미치는 영향

4. 성능개선재 메카니즘

금속알킬사이드와 실리케이트의 복합물 Ti는 수 nm 정도의 입자들로 이루어져있고 점성과 표면장력이 상당히 작아 중력 작용이 무시될 정도로 콘크리트 내부에 침투가 되며 침투된 것은 분자간의 반데르발스 인력과 이온간의 정전기적 인력에 의해 콘크리트 내부 깊숙이 침투하여 졸(sol) 입자를 형성한다. 이렇게 침투된 금속알킬사이드와 실리케이트의 복합물 Ti는 물과 직접 반응을 하지 못하는 성질이 있으므로 유기용매 A를 적절한 양(1:1)으로 혼합하여 사용하면 다음과 같이 물분자에 포함된 산소의 친핵공격(nucleophilic attack)에 의해 가수분해(hydrolysis)가 발생한다.

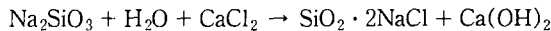


이렇게 가수분해가 발생하면 곧바로 실리케이트에 친핵성의 양성자가 떨어진 실란올(silanol)의 공격에 의해 다음과 같이 유기용매가 떨어져 나가면서 금속알킬사이드와 실리케이트의 복합물 Si는 연속적으로 축합반응(condensation reaction)과 중축합반응(water condensation reaction)을 일으킨다.



졸 입자들은 가수분해와 축합반응에 의해 클러스터(cluster)란 응집체가 형성되어 성장되면서 서로 연결된 겔(gel)로 되는 데 이것을 겔화(gelation)이란 부른다. 즉 겔화는 클러스터들이 고분자의 축합이나 입자들의 응집에 의해 성장하여 서로 연결되면서 거대한 팽창 클러스터(spanning cluster)이 형성되면서 시간이 경과함에 따라 축합반응 및 자발수축(syneresis)에 의해 더욱 강하고 단단하게 계속 진행되어 콘크리트 공극을 메워 콘크리트 조직이 치밀해지는 것으로 판단된다. 이런 현상은 콘크리트 내부에 물과 pH 7이상 인 조건에서 연속적으로 반응하여 콘크리트 조직이 치밀해짐으로서 강도 및 수밀성이 증진되고 방수층이 형성되는 등 콘크리트의 성능이 향상된다.

그리고 염화물 이온이 콘크리트 내부에 침투가 되더라도 침투된 염화물은 콘크리트 내부에 있는 실리케이트 성분과 반응하여 규산염 겔($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{NaCl}$)이 형성하여 염화물이 고정화(chloride binder) 됨으로써 콘크리트 내부에 존재하는 염화물량이 감소한다.



또한 이산화탄소 가스가 콘크리트 내부로 침투되어 콘크리트가 중성화되더라도 규산염겔의 pH가 13정도이므로 콘크리트에 알칼리를 부여하므로 중성화가 회복될 것이다.

한편, 콘크리트 조직을 어느 깊이까지 어느 정도 치밀하게 하는가를 검토하기 위해 금속알킬사이드와 실리케이트의 복합물 Ti에 유기용매 A를 1:1로 조합하여 콘크리트 표면에 도포하여 7일간 양생한 다음 그림 9과 같이 콘크리트 깊이별로 시료를 채취하여 다이아몬드 절단기로 5mm정도 크기로 시료를 만들어 수은압입법(MIP)에 의해 세공구조(기공률, 기공분포)를 측정하였다. 그림 10과 그림 11은 각각 도포 유무에 따른 콘크리트 깊이별 전체 기공용적과 기공용적분포의 결과이다. 금속알킬사이드와 실리케이트의 복합물 Ti를 도포한 결과, 콘크리트의 깊이에 상관없이 기공률이 상당히 감소하고 있으며, 특히 $0.05\mu\text{m}$ 이상의 비교적 큰 기공이 감소하고 $0.05\mu\text{m}$ 이하의 작은 기공이 증가하여 콘크리트 조직이 상당히 치밀해지고 있음을 알 수 있다. 이상과 같이 콘크리트 내부 깊숙이 침투가 되고, 콘크리트 깊이에 상관없이 콘크리트 조직을 상당히 치밀하게 하는 것으로 판명되었다.

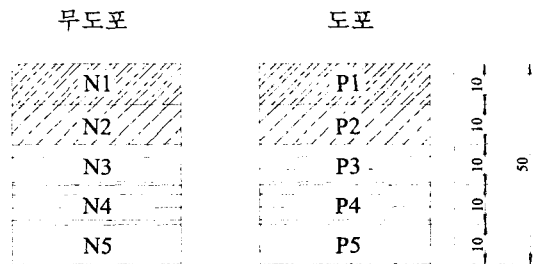


그림 9. 콘크리트 깊이별 시료채취

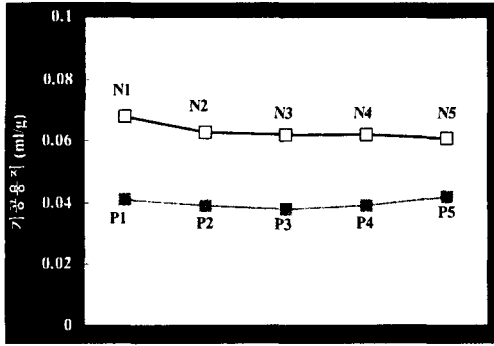


그림 10. 전체 기공용적

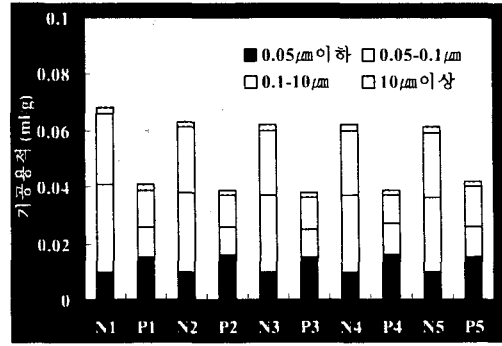


그림 11. 기공용적 분포

그림 12는 콘크리트 침투강화형 성능개선재의 도포 유무에 따른 SEM 사진을 촬영한 결과이다. 그 결과, 무도포의 시료인 경우 큰 공극이 많이 존재하고 있으나, 성능개선재를 도포한 시료인 경우 콘크리트 조직이 치밀해져 방수층이 형성되어 있음을 알 수 있다.



무도포



도포

그림 12 콘크리트 침투강화형 성능개선재의 SEM 사진

5. 결론

본 연구에서 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 콘크리트 침투강화형 성능개선재를 도포하여 압축강도, 흡수율, 염화물 고정화, 중성화 회복성능을 평가한 결과, 금속일킬사이드와 실리케이트의 복합물 Ti에 유기용매 A를 1:1로 조합하는 것이 가장 뛰어난 것으로 분석되었다.
- (2) 콘크리트 침투강화형 성능개선재를 콘크리트에 도포하면 콘크리트의 깊숙이 침투하고, 강도 및 수밀성 증진, 방수층 형성, 염화물질 차단으로 인한 내구성 향상, 염해 및 중성화를 받은 콘크리트의 염화물 감소, 중성화 회복에 효과적인 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김도겸, 류금성, “콘크리트 침투강화형 방수·보수물질 검토” 대한토목학회학술발표회 논문집 2002.
2. 고경택, 김성욱, “도포형 표면강화제 적용 콘크리트의 성능 검증법에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제 12권 2호, 2000.