

시멘트 광물계 급결제를 사용한 습식 슛크리트의 내구성 평가

Evaluation of Durability Performance of Wet-Mixed Shotcrete with Powder Types Cement Mineral Accelerator

원종필* 성상경** 박찬기** 조용진*** 최석원*** 박해균****
Won, Jong-Pil Sung, Sang-Kyoung Park, Chan-Gi Cho, Yong-Jin Choi, Seok-Won Park, Hae-Geun

ABSTRACT

Recently, construction works of scale are getting larger with economic growth. Shotcreting is one of major processes in tunnels construction. Accelerator is used in tunnel and underground structures to ensure early strength of shotcrete. Silicate based acceleratoe and aluminate based accelerator is getting widely in the field. But these accelerators have many problems due to decesease of long-term strength and low quality of the hardened shotcrete. in order to solve these problems, recently developed powder types cement mineral accelerator.

In this study, we tested chloride permeability, freezing and thawing and accelerated carbonation of shotcrete. As a result of the test, wet-mixed shotcrete with powder types cement mineral accelerator exhibited durablilty improvement compared to the conventional shotcrete accelerator.

1. 서론

최근 들어 급속한 경제성장으로 인해 국토 이용의 효율성을 위하여 터널 및 지하공간 건설공사가 증가하고 있으며, 터널 및 지하공간 건설시 주요 지보재로 사용되고 있는 슛크리트 공법 역시 적용이 확대되고 있다.^(1,2) 슛크리트는 조기강도 확보를 위해 급결제를 사용하고 있으나 현재 국내에서 사용되는 실리케이트계 및 알루미늄네이트계 급결제는 장기강도의 저하 및 독성 등의 이유로 점차 사용이 감소되거나 선진국에서는 그 사용을 금하고 있는 실정이다.^(3,4,5) 이러한 이유로 슛크리트의 품질 및 시공성 향상을 위한 고품질 급결제의 슛크리트 적용성에 관한 연구가 진행되고 있으나 대부분의 연구가 슛크리트의 휨성능 및 급결성능에 대한 연구가 대부분이며 장기적인 내구성에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다.⁽⁶⁾ 이에 본 연구에서는 최근 환경친화적이며 급결성능 및 강도발현 특성이 우수하다고 알려진 시멘트 광물계 급결제를 사용한 슛크리트의 염소이온 투과시험, 동결융해 저항성 시험 및 중성화 촉진 시험을 실시하여 내구성능을 평가코자 한다.

2. 사용재료 및 시험방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 골재

* 정회원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수

** 정회원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사후 과정

*** 정회원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정

**** 삼성물산(주)건설부문 토목사업본부 토목기술팀 과장

시멘트는 H사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 1과 같다. 굵은 골재는 최대치수 13mm 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 비중 2.6, 조립률 2.86의 강사를 사용하였다.

Table 1. Physical properties of cement

| Physical properties | Blain fineness (cm ² /g) | Specific gravity | Stability (%) | Compressive strength (MPa) | | |
|---------------------|-------------------------------------|------------------|---------------|----------------------------|--------|---------|
| | | | | 3 days | 7 days | 28 days |
| | 3,488 | 3.15 | 0.08 | 22±2 | 30±2 | 38±3 |

2.1.2 급결제

현재 국내에서 사용되고 있는 급결제의 종류는 알루미늄이트계, 실리케이트계가 있으며 본 연구에서는 실리케이트계, 알루미늄이트계 및 시멘트 광물계 급결제를 사용하였다. 급결제의 사용량은 현재 가장 널리 사용되고 있으며 제조사에서 권장하고 있는 첨가율을 선택하였다.

2.2 배합설계

시멘트 광물계 급결제를 사용한 슛크리트의 내구성능을 평가하기 위하여 재령 1일, 3일, 28일의 설계기준 휨강도가 2.1, 3.0, 4.5 MPa이 되도록 예비시험을 거쳐 Table 2와 같은 배합설계를 실시하였다.

Table 2 Mix proportions of concrete

| Type of mixture | G _{max} (mm) | Slump (cm) | W/C (%) | S/a (%) | Air (%) | W (kg/m ³) | C (kg/m ³) | S (kg/m ³) | G (kg/m ³) | accelerator (kg/m ³) | plasticizer (g/m ³) |
|-----------------|-----------------------|------------|---------|---------|---------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| P* | 13 | 12±2.5 | 45.5 | 65 | 4±1 | 209.3 | 460 | 1047 | 581 | - | 2300 |
| Al* | | | | | | | | | | 23 | |
| S** | | | | | | | | | | 46 | |
| CM*** | | | | | | | | | | 18.4 | |

* plain ** aluminate *** silicate **** cement mineral

2.3 시험방법

2.3.1 염소이온투과

시멘트 광물계 급결제를 사용한 슛크리트의 간접적인 투수성을 평가하기 위하여 ASTM C 1202-94 (Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration)에 준하여 각 재령(7일, 14일, 28일, 91일)에서 따라 시험을 실시하였다.⁽⁶⁾

2.3.2 동결융해 저항성

시멘트 광물계 급결제를 사용한 슛크리트의 동결·융해 저항성을 측정하기 위해서 100×100×400mm의 각주형 공시체를 제작하여 23℃의 양생수조에서 14일간 양생한 후 KS F 2456 「급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법 중 B방법-공기중에서 급속 동결하여 수중에서 융해시키는 시험과정」에 따라 동결·융해 시험을 실시하였다.⁽⁷⁾ 매 30사이클에서 상대동탄성계수를 측정하였으며 시험결과 는 공시체 2개를 제작하여 평균값을 사용하였다.

2.3.3 중성화 촉진

시멘트 광물계 급결제를 사용한 슛크리트의 중성화 저항특성을 평가하기 위하여 100mm × 200mm

의 실린더형 공시체를 제작하여 23±2℃의 양생수조에서 28일동안 표준양생을 실시한 후 인공적으로 조성된 이산화탄소 촉진 환경에서 공시체를 90일간 노출시켰다. 그 후 공시체를 할렬파괴하여 파괴된 공시체를 가지고 중성화 시험을 실시하였다. 중성화 저항성을 평가하기 위해서 가장 보편적인 방법인 1% 페놀프탈레인-알콜용액을 이용하여 중성화 깊이를 구하였다. 중성화 촉진 시험조건은 Table 3과 같다.

Table 3 Condition of accelerated carbonation

| CO ₂ (% vol) | Temperature (°C) | humidity (%) |
|-------------------------|------------------|--------------|
| 10 | 50 | 50 |

3. 시험결과

3.1 염소이온투과

시멘트 광물계 급결제를 사용한 슛크리트의 염소이온투과시험의 결과는 Fig 1과 같다. Plain 및 급결제를 첨가한 모든 배합에서 재령이 늘어남에 따라 강도발현에 의해 통과전하량 값이 감소하는 경향을 보였다. 그러나 모든 재령에서 통과전하량이 4000이상의 높은 상태로 나타났다. 시멘트 광물계의 경우 Plain과 비교하였을 때 모든 재령에서 유사한 경향을 보였으며, 알루미늄계 및 실리케이트 급결제를 첨가한 배합보다 상대적으로 투수성이 낮은 것으로 나타났다. 이는 시멘트 광물계 급결제의 경우 다른 급결제보다 초기에 다량의 에트린자이트를 생성하는 급결특성을 갖고 있어 상대적으로 공시체 내부의 조직이 치밀해졌기 때문인 것으로 사료된다.

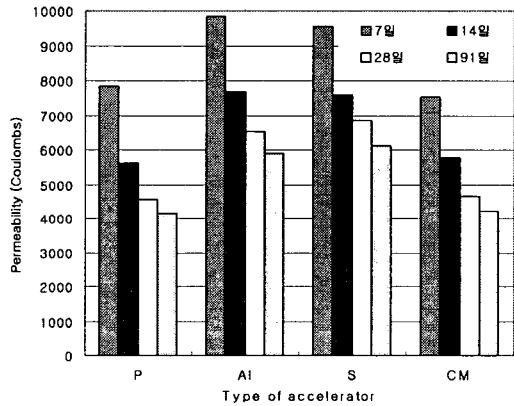


Fig 1 Results of chloride permeability test

3.2 동결융해 저항성

시멘트 광물계 급결제를 사용한 슛크리트의 동결융해 반복 후 plain 및 급결제를 첨가한 슛크리트의 사이클당 동탄성계수 측정 결과는 Fig 2와 같다. 시멘트 광물계 급결제의 경우 plain과 비교하였을 때 유사한 경향을 보이고 있으며 알루미늄계 및 실리케이트계 급결제에 비해 동결융해 반복에 따른 저항성이 우수한 것으로 나타났다.

이는 시멘트 광물계 급결제의 경우 다른 급결제의 비해 경화체의 강도발현이 우수하고 염소이온투과시험 결과에서 나타나듯이 경화체의 내부조직이 상대적으로 치밀하여 동해의 원인이 되는 수분의 침투를 억제하였기 때문인 것으로 사료된다.

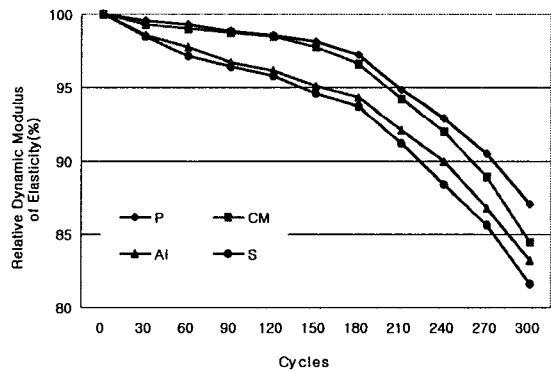


Fig 2 Results after repeated freezing and thawing test

3.3 중성화 촉진

시멘트 광물계 급결제를 사용한 슛크리트의 중성화 촉진시험 결과는 Table 4와 같다. 90일간 중성화 촉진 환경에 노출시킨 공시체의 중성화 깊이를 측정한 결과 시멘트 광물계 급결제를 사용한 배합의 경우 다른 급결제와 뚜렷한 차이를 보이진 않지만 상대적으로 중성화깊이가 작은 것으로 나타났다.

Table 4 Result of carbonation test

| | Depth of Carbonation (mm) | | |
|----|---------------------------|---|------|
| | Specimen | | Mean |
| | 1 | 2 | |
| Al | 5 | 5 | 5 |
| S | 5 | 4 | 4.5 |
| CM | 3 | 2 | 2.5 |

4. 결론

시멘트 광물계 급결제를 사용한 슛크리트의 내구성능을 평가코자 실내시험을 실시하였으며 시험 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

- 1) Plain 및 급결제를 첨가한 모든 배합에서 재령이 늘어남에 따라 강도발현에 의해 통과전하량 값이 감소하는 경향을 보였다. 시멘트 광물계의 경우 Plain과 비교하였을 때 모든 재령에서 유사한 경향을 보였으며 알루미늄이트계 및 실리케이트 급결제를 첨가한 배합보다 상대적으로 투수성이 낮은 것으로 나타났다.
- 2) 동결 융해 반복시험 결과 시멘트 광물계 급결제의 경우 plain과 유사한 경향을 보이고 있으며 알루미늄이트계 및 실리케이트계 급결제에 비해 동결융해 반복에 따른 저항성이 우수한 것으로 나타났다.
- 3) 90일간 중성화 촉진환경에 노출시킨 공시체의 중성화 깊이를 측정한 결과 시멘트 광물계 급결제를 사용한 배합의 경우 다른 급결제와 비교하여 상대적으로 중성화깊이가 작은 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. ACI Committee 506, "Guide To Shotcrete", ACI 506R-90, 1995.
2. ACI Committee 506, "Specification for materials, proportioning and application of shotcrete", ACI 506.2-90, 1995.
3. Luiz Roberto Prudencio, Jr., "Accelerating Admixtures for Shotcrete", Cement and Concrete Composites, Vol. 20, 1998, pp. 213-219
4. 이한규, "강섬유 보강 슛크리트용 시멘트계 급결제의 물성에 대한 실험적 연구", 한양대학교 산업대학원 석사학위 논문, 2000.
5. 한일영 등, "습식 슛크리트 공법 고성능화 연구", 99연구개발사업 최종보고서, SK건설, 2001.
6. 박해균 등, "Permanent Shotcrete Tunnel Lining 구축을 위한 고성능 슛크리트 개발(I:고강도 슛크리트 개발을 위한 새로운 급결제 적용)", 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, Vol. 14, pp 1023-1030, 2002.
7. ASTM C 1202-94, "Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration"
8. KS F 2456, 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항시험 방법, 1993.