

급결특성에 따른 슛크리트 리바운드의 비교분석 연구

- A Study on the Comparison and Analysis of Shotcrete Rebounds due to Acceleration -

○ 신민호^{*1}, 김원일^{*2}, 전병승^{*3}, 이선복^{*3}, 임종성^{*4}

○ Min Ho Shin^{*1}, Won Il Kim^{*2}, Byung Seung Jun^{*3}, Sun Bok Lee^{*3}, Jong Seong Im^{*4}

Abstract

The purpose of this paper is to decrease shotcrete rebound losses and to produce economic effectiveness at the same time in construction. The mechanical properties and quick acceleration of various shotcrete mixes were analyzed, which were influenced by several accelerators and their amounts used. And the application and construction in the fields were evaluated. The shotcrete rebounds relied on the condition of construction rather than on the quality of materials, but it is found that the decreasing of the cost and time in shotcreting under the same condition was based on the rebounds which were affected by the accelerating capability of the accelerators. The application of the accelerator was limited by the condition of tunnel construction ; such as ground water, anti-corrosive, or anti-chemistry. It is important to choose a proper accelerator. Therefore, it is necessary that better accelerators which satisfy mechanical characteristics and economy are developed. Optimal working conditions should be announced to the workers and workers' skill be improved in the shotcrete construction field as well.

1. 연구목적

NATM 공법의 도입에 따라 슛크리트는 터널과 같은 지하구조물 건설에 있어서 굴착압반의 이탈방지, 변형억제, 초기지보재로서의 강도 확보, 거푸집제작피절감 등의 유리한 시공성에 기인하여 초기지보재로서 각광받고 있다.

그러나 슛크리트는 타설과 함께 리바운드량이 타설량의 30 % 이상 발생하여, 그에 따른 재료손실 및 리바운드 버력 처리에 따른 공기지연, 불균질한 슛크리트의 시공 등을 비롯한 많은 문제점을 내포하고 있는 실정이다.

본 연구는 슛크리트의 리바운드량을 감소시키기 위한 방안으로 각종 역학적 시험, 급결성분석, 현장시험 시공 등을 통하여 급결제의 급결특성과 현장의 시공성 및 현장적용 방안을 검토하는데 그 목적이 있다.

*1 (주)금호건설 기술연구소, 지반연구실장, 공학박사

*2 (주)금호건설 기술연구소, 주임연구원

*3 (주)금호건설 기술연구소, 연구원

*4 (주)금호건설 기술연구소, 소장, 공학박사

2. 연구개요

본 연구에서는 급결제의 종류와 혼입량에 따라 각종 역학적 특성과 급결성을 분석하여, 그 결과에 따라 현장시공시의 경제성을 분석하였다. 본 연구의 개요는 다음과 같다.

1. 응결시간시험

- 길모야침에 의한 시멘트의 응결시간 측정방법

2. 리바운드 모형시험 및 현장시험

- 용수상태와 비용수상태를 재현한 모형판넬시험
- 터널 천정부와 측벽부에 대한 현장시험

3. 실내 및 현장 압축강도시험

- 원주형몰드와 빔몰드를 이용하여 각 재령별 슛크리트 압축강도 측정

4. SEM, ICP, XRD 분석

- SEM 을 이용하여 급결제별 Ettringite 생성과정을 관찰하였으며, 급결제의 구성성분 분석을 위해 XRD 및 ICP 를 수행하였다.

5. 경제성분석

- 각 급결제를 실제 현장에 적용하는 경우 터널의

발과 pattern별 1발과당 슛크리트의 타설비를 시험현장의 설계대가와 비교하며 리바운드 및 잔재 처리 감소로 인한 공사비 절감 및 공기단축 효과를 분석하였다.

3. 연구결과

(1) 응결시간시험

응결시간시험은 KS L 5103 (길모아침에 의한 시멘트의 응결시간 시험방법)에 의거하여 수행하였다.

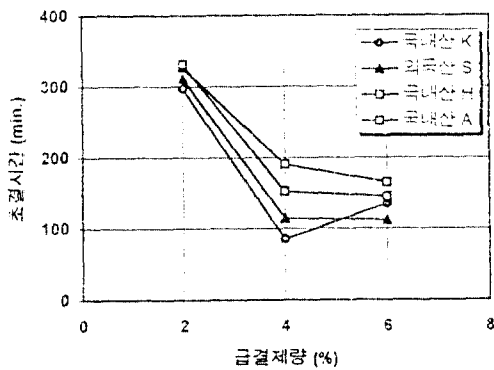


Fig 1 응결시간 시험결과 (초결)

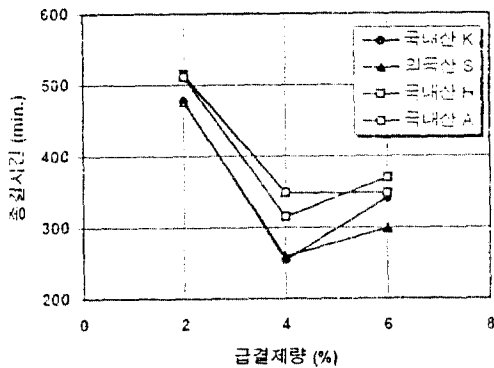


Fig 2 응결시간 시험결과 (중결)

응결시간시험 결과 국내산 K 급결제와 외국산 S 제품의 성능이 우수하였으며, 급결제 혼입량 4%와 6% 경우는 응결시간에 큰 차이가 없는 것으로 볼 때, 기존의 연구에서 보고된 바와 같이 급결제 혼입량

이 4~5%인 경우가 최적배합비로 판단된다.

(2) 리바운드시험

리바운드시험은 모형판넬시험과 실제 터널현장 막장부에서의 리바운드시험을 수행하였으며, 모형판넬시험에서 용수상태와 비용수상태를 재현하여 각 경우를 비교하였다.

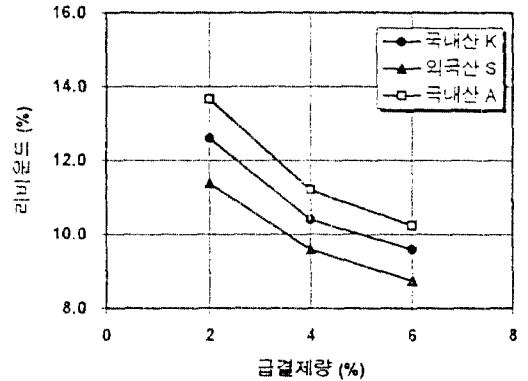


Fig 3 비용수상태 리바운드 모형시험결과

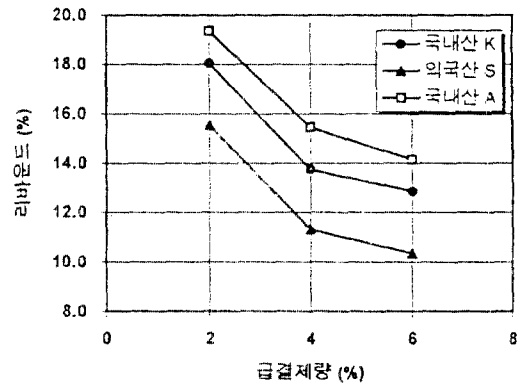


Fig 4 용수상태 리바운드 모형시험결과

시험 결과 외국산 S 제품을 혼입한 경우가 가장 적은 리바운드가 발생하였으며, 실제 타설에 있어서 외국산 급결제를 혼입한 경우가 보다 균질한 슛크리트를 시공할 수 있었다. 국내산 급결제로는 K 급결제의 부착성 및 급결성이 국내산 T 급결제에 비해 다소 우수한 결과를 얻었다.

용수상태와 비용수상태에서의 리바운드량을 비교하

면 용수상태가 리바운드량이 약 40 % 정도 증가하는 것으로 나타났다.

급결제 혼입량에 따른 리바운드량의 변화를 보면 급결제량이 증가할수록 리바운드가 감소하는 결과를 얻을 수 있었으나, 4 % 이상 혼입시 리바운드 감소량이 현격히 증대되지 않으며, 압축강도 시험결과를 참조로 하여 급결제량 증가에 따른 장기강도의 저하와 재료비 상승을 고려한다면 급결제량 4 ~ 6 % 가 가장 적절한 배합비인 것으로 판단된다.

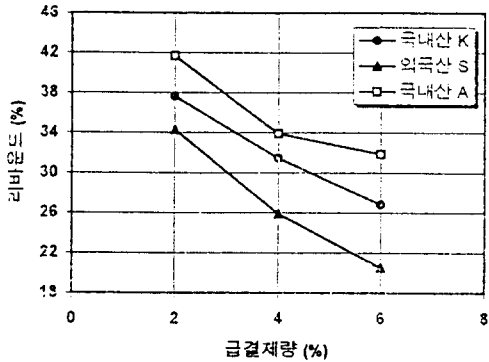


Fig 5 터널 천정부 리바운드 시험결과

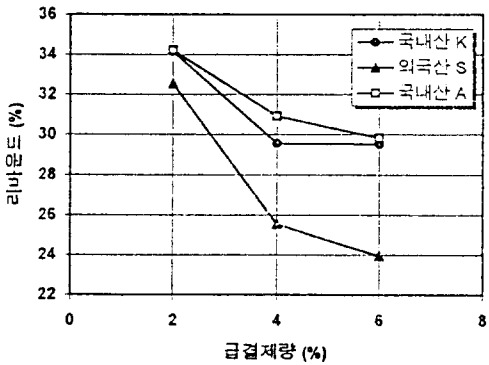


Fig 6 터널 측벽부 리바운드 시험결과

현장시험의 경우도 모형시험 결과와 마찬가지로 외국산 제품이 품질이 뛰어났으며, 국내산 제품간의 리바운드량의 차이는 크지 않았다. 급결제의 적정 혼입량도 4~6 % 인 것으로 판단된다.

(3) 압축강도시험

시험현장의 현장배합표에 의거하여 원주형 공시체를 사용한 실내시험 및 빔몰드를 사용한 현장시험을 수행하였다.

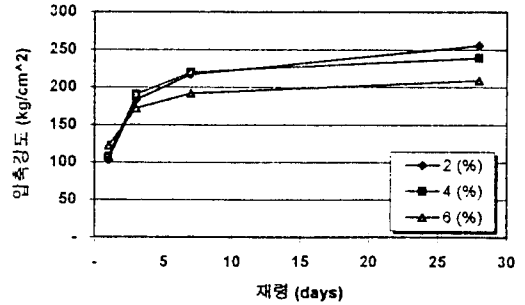


Fig 7 현장 압축강도 시험결과 (국내산 K)

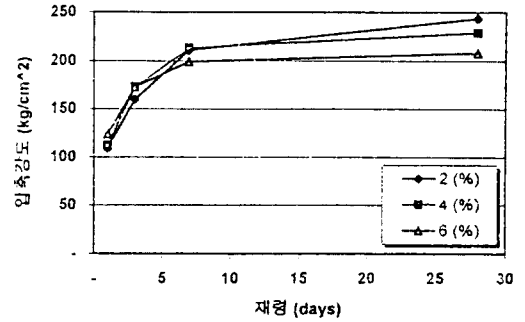


Fig 8 현장 압축강도 시험결과 (외국산 S)

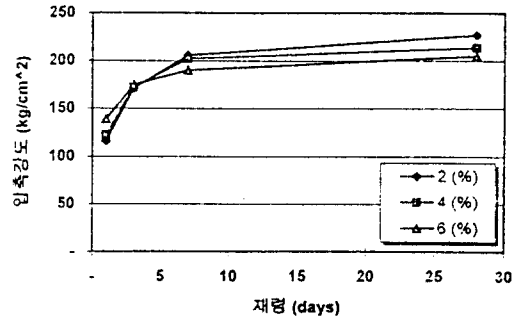


Fig 9 현장 압축강도 시험결과 (국내산 A)

그 결과 각 재령별 압축강도가 시방서 권장 강도기준을 만족하고 있으며, 28 일 장기강도의 경우는 국내산 K 제품의 성적이 보다 우수하였다.

급결제량에 따른 강도특성을 보면 급결제량의 증가에 따라 초기강도는 증가하고 장기강도는 감소한다는 기존 연구결과와 일치하는 경향을 보이고 있다. 한편 숯크리트의 소요강도를 확보하기 위한 급결제의 최소 사용량은 4 % 이상 혼입이 바람직할 것으로 보인다.

(4) 급결성분석

주사전자현미경 (SEM) 을 사용하여 급결제별 Ettringite 생성과정을 관찰하였으며, 급결제의 구성 성분 분석을 위해 XRD 및 ICP 를 수행하였다.



Fig 10 Ettringite 생성 (국내산 K, 4 %, 2 hr)

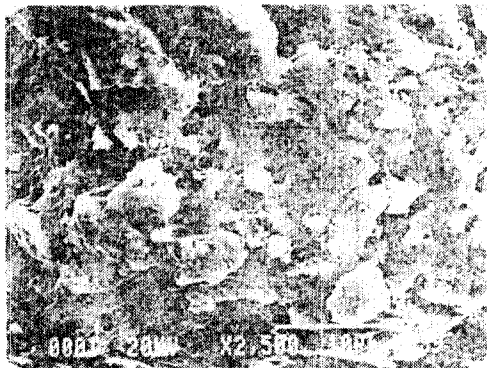


Fig 11 Ettringite 생성 (외국산 S, 4 %, 2 hr)



Fig 12 Ettringite 생성 (국내산 A, 4 %, 2 hr)

급결작용은 무기염류의 수화에 의해 발생하는 Ettringite 의 생성을 원활히 촉진하는 것에 의한다고 사료되며, 외국산 S 제품, 국내산 K 제품, 국내산 A 제품의 순으로 Ettringite 의 생성시간과 형성상태가 우수하였다. 본 연구에 사용된 급결제는 화학분석을 통해 검토해 본 결과 모두 CSA 계통의 급결제인 것으로 판단된다.

(5) 경제성검토

시험에 사용된 각 급결제를 실제 현장에 적용하는 경우 터널의 1 발파당 숯크리트 공사비를 시험현장의 설계대가와 비교, 분석하여 그 적용성을 평가하였다.

본 경제성 분석자료를 얻기 위한 시험현장 대상은 당사 P 터널공사 현장이며, 1 발파당 숯크리트 타설비 및 숯크리트 공사비를 산출하기 위하여 당 현장의 일위대가 산출내역을 근거로 하였다.

단위 공사비 산출시 주요 비교대상은 다음과 같다.

- 리바운드 감소로 인한 숯크리트 타설비, 잔자재처리비의 감소
- 리바운드 감소로 인한 숯크리트 타설 공기의 단축

여기서 경제성분석 입력자료로 쓰인 각 급결제별 리바운드량은 현장시험결과에 의거하여 설계 40 %, 국내산 K 30 %, 외국산 S 25 %, 국내산 A 32 % 이며, 숯크리트 타설 공사비 및 그에 따른 소요공기와 관련한 경제성을 비교, 분석하여 공기단축 및 공사비 절감액을 정리하면, 다음 Table 1 과 같다.

Table 1 급결제별 경제성 비교

구분	공기단축	공사비절감
설계	-	-
국내산 K	20 일	304,340 천원
외국산 S	25 일	313,215 천원
국내산 A	16 일	287,790 천원

경제성분석 결과 슛크리트 타설비의 경우, 급결제 K, S, A 를 사용한 타설비에 있어 설계대비 각각 304,340 천원, 313,215 천원, 287,790 천원으로 공사비의 절감효과가 나타났다. 또한 슛크리트 타설소요공기의 경우, 급결제 K, S, A 를 사용한 타설소요 공기 단축이 설계대비 각각 20 일, 25 일, 16 일로 산정되었다.

결론적으로 슛크리트용 골재 및 시멘트, 타설장비, 노즐맨의 숙련도 등의 시공조건이 모두 동일하다는 조건하에서 설계대비 슛크리트 타설공사비 및 타설 소요 공기 단축은 급결제의 급결성능에 따른 리바운드율에 좌우됨을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 슛크리트 리바운드량의 감소를 위한 방안으로서, 급결제 종류 및 혼입량에 따른 특성을 분석하여 적용성을 평가하였다. 본 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 응결시간시험, 리바운드시험, 압축강도시험, 화학분석을 통하여 급결제의 성능을 비교하고 경제성분석을 통하여 현장적용성을 검토한 결과, 슛크리트 리바운드는 재료의 품질보다는 시공조건에 의해 지배적인 영향을 받는 것이 사실이나 슛크리트 재료와 시공조건 등이 동일하다는 조건하에서 설계대비 슛크리트 타설공사비 및 타설소요공기 단축은 급결제의 급결성능에 따른 리바운드율에 좌우되는 것을 알 수 있었다.
2. 급결성분석 결과 급결반응은 수화반응과정에서 무기염류의 수화에 의해 발생하는 Ettringite 의 생성을 원활히 촉진하는 것에 의한다고 사료되며, 터널의 용수/비용수상태 또는 내식성, 내화학적 등의 현장조건에 따라 이에 적합한 급결제의 선정이 중요

한 문제이므로 각종 역학적 특성과 경제성을 만족시킬 수 있는 우수한 급결제의 개발 및 국산화가 선행되어야 할 것이다.

5. 참고문헌

1. Mahar, J. W., Parker, H. W., and Wuellner, W. W., *Shotcrete Practice in Underground Construction*, Report No. FRA-OR&D 75-90, Federal Railroad Administration, 1975, pp. 7-1~7-37, 8-15~8-21.
2. ACI Committee 506, *Shotcrete for Ground Support*, ACI Publication SP-54, 1975, pp. 29~58, 89~96, 149~187.
3. (주)대우 건설기술연구소, "Shotcrete의 성능개선 연구", *대우 건설기술보*, Vol. 5., No. 2, 1992, pp. 27~40.
4. 안상기, "스�크리트의 리바운드 감소에 대한 재료개발 연구시험", *한국콘크리트학회지*, 1993, pp. 54~61.
5. 현석훈, 한기석, "스�크리트 품질에 미치는 재료 및 시공 조건의 영향", *한국콘크리트학회 학술발표회 개요집*, 1994, pp. 227~232.
6. 坂井悦郎, *新コンクリート用 混和材料 (技術と市場)*, CMC, 1988, pp. 69~78.
7. ACI Committee 506, *Guide to Shotcrete* (ACI 506R-90), American Concrete Institute, Detroit, 1985, pp. 1317~1323.
8. ACI Committee 506, *Recommended Practice for Shotcreting* (ACI 506-66), ACI Manual of Concrete Practice, 1983, pp. 506-4~506-12.
9. 건설부, *터널공사표준시방서*, 1985.