

고성능 슛크리트의 내구성에 관한 연구

An Experimental Study on the Durability of Shotcrete

백신원 · 권소진* · 김의성* · 신용석*

한경대학교 안전공학과 · *현대산업개발(주)

요 약

주로 터널 등에 사용되는 슛크리트는 콘크리트와 달리 높은 압력으로 뿜어붙이기 때문에 콘크리트와 다른 역학적 특성이 보이게 된다. 그러나 국내에서는 이러한 슛크리트의 중요한 역학적 특성인 내구성에 관한 실험이 미미한 실정으로 본 연구에서는 슛크리트장비를 이용하여 실험시편을 급결제의 종류, 혼화제의 종류, 혼화제(실리카흙, 고로슬래그, 플라이애쉬)의 종류 등에 따라 제작하여 강도실험(28일 및 56일 압축강도, 28일 휨강도, 56일 활렬인장강도), 동결융해실험, 내투수성실험, 중성화실험 등의 폭 넓은 실험을 통해 고성능 슛크리트의 전반적인 내구특성을 규명할 수 있었다.

1. 실험개요

콘크리트의 내구특성은 여러 가지 방법에 의해 평가될 수 있다. 그 중에서도 가장 널리 쓰이는 방법으로 동결융해, 중성화, 염소이온 투과시험 등을 들 수 있다. 따라서 본 연구에서는 슛크리트의 내구성을 평가하기 위해서 위의 세 가지 실험을 기본으로 하고 재령에 따른 압축강도와 휨강도를 측정하였다.

또한 슛크리트 내구성 영향인자들 중에서 현재 콘크리트의 내구성을 향상시키기 위해 가장 널리 이용되는 혼화재인 실리카흙, 플라이애쉬, 슬래그 등을 변수로 하였고, 성능개선을 위해 사용되는 고성능유동화제, AE제, 감수제 등의 혼화제 특성도 실험을 통하여 검증하고자 하였다.

또한 슛크리트 구성요소 중 가장 필수적이라 할 수 있는 급결제에 대해서는 종래에 이용되던 실리카이트계 및 알루미늄네이트계 급결제와 최근 들어 이용이 증가되고 있는 알칼리 프리계 급결제를 변수로 하여 각각의 내구특성을 파악하고자 하였다.

스�크리트의 패널 타설 후 24시간 뒤에 시편을 채취하여 수증양생을 실시하였다. 압축강도, 중성화, 염소이온 투과시험에 사용되는 원형 시편은 패널 타설 후 $\phi 10\text{cm}$ 의 코어채취기를 통해 채취하였고, 휨강도 시험 및 동결융해 저항성 시험에 사용되는 직사각형 시편은 패널 타설 후 전면 커팅에 의해 제작하였다.

특별히, 최근 사용되는 슛크리트에서는 강섬유나 합성 섬유 등 보강섬유의 혼입이 거의 필수적이나 본 논문에서는 슛크리트에 사용되는 혼화제나 혼화제가 내구성에 미치는 영향을 분석하고자 하였기에 섬유에 의한 효과를 배제하기 위하여 배합에서 제외하였다.

2. 실험변수

숏크리트의 내구성능에 영향을 미치는 다양한 인자의 효과를 평가하기 위하여 크게 다섯 가지로 분류하여 실험을 진행하였다. 먼저 급결제 내구성능평가를 위해 알칼리 계열의 실리케이트계, 알루미늄이테계 급결제와 알칼리 프리 급결제를 7%(시멘트 중량대비) 첨가하여 실험을 진행하였다.

급결제와 더불어 숏크리트에 필수적으로 첨가되는 혼화제의 성능을 분석하기 위하여 감수제, AE제 및 유동화제를 첨가한 숏크리트에 대해서도 내구성능 실험을 실시하였다. 또한 다양한 혼화제의 효과를 분석하기 위해 기존 문헌 분석을 통해 혼화제 별로 적정 혼입률이라 판단되는 혼입률을 추정하여 실험변수로 선정하였다. 실리카흙의 경우 시멘트 중량대비 5%, 10%, 슬래그 10%, 20%, 플라이 애쉬 15%, 30% 까지 첨가하여 각각의 혼화제가 숏크리트의 내구성능향상에 미치는 효과 및 최적 혼입률을 판단하고자 하였다.

본 연구에서 사용한 각각의 변수와 특징은 아래 표 1과 같다.

Table 1. Experimental variable definition

Series	Contents	Notes
AS	Silicate accelerator	No admixture
CA	Aluminate accelerator	
AAF	Alkali-free accelerator	
CWR	Water-reducing admixture	Alkali-free accelerator
CAE	Air-entrainment	
CS	Superplasticizer	
SF00	Silica fume 0%	Alkali-free accelerator Superplasticizer
SF05	Silica fume 5%	
SF10	Silica fume 10%	
SG00	Slag 0%	Alkali-free accelerator Superplasticizer
SG10	Slag 10%	
SG20	Slag 20%	
FA00	Fly ash 0%	Alkali-free accelerator Superplasticizer
FA15	Fly ash 15%	
FA30	Fly ash 30%	

3. 실험결과

3.1 압축강도

먼저 급결제의 성능 비교를 위한 실험에서는 알칼리 프리 급결제가 초기 7일 강도에 서 다른 두 가지 알칼리계 급결제보다 강도면에서 약 25% 정도 높은 성능을 보였다. 또한 28일과 56일의 중장기 강도에서는 알칼리 계열의 급결제인 알루미늄이테, 실리케이트 급결제를 사용한 경우 7일 강도와 거의 비슷한 강도를 나타내고 있어 7일 이후에는 거의 강도발현이 없는 것으로 판단된다. 하지만 알칼리 프리 계열 급결제의 경우에

는 56일 강도에서도 28일에 비해 약 30%정도의 강도 증진 효과를 보이고 있어 내구성 측면에서 알칼리 프리 급결제를 사용하는 것이 훨씬 유리함을 보여준다고 할 수 있다.

-shotcrete에 포함되는 다양한 혼화제의 특성을 비교하기 위한 실험에서 압축강도 결과를 살펴보면 혼화제에 따라 성능에 차이가 있음을 알 수 있다. 압축강도 측면에서 보면 공기연행제와 고유동화제가 감수제보다 유리함을 알 수 있다. 또한 56일 강도를 보면 고유동화제가 조금 더 높은 강도를 보이고 있으며 이러한 추세로 유추해 보건데 내구성 측면에서는 고유동화제가 더 유리할 것으로 판단된다.

최근에는 shotcrete의 성능을 향상시키기 위해 다양한 혼화제가 혼입되어 사용되어지고 있다. 그 중에서 가장 많이 사용되어지는 실리카흙, 슬래그, 플라이 애쉬에 대해서 압축강도 특성을 분석하여 보았다.

먼저 실리카흙의 경우 shotcrete의 강도를 증진시키기 위해 가장 널리 사용되는 혼화제로서 본 실험에서는 시멘트 중량의 5%와 10%를 혼입하여 그 성능과 효과를 분석하고자 하였다. 실리카흙을 혼입한 shotcrete의 압축강도 특성을 보면 실리카흙을 혼입한 shotcrete의 압축강도가 첨가하지 않을 때보다 높은 압축강도를 보임을 명확히 알 수 있다. 또한 혼입량의 적정성 측면에서 보면 시멘트 중량의 10%를 첨가하였을 때가 좀 더 높은 강도 증진 효과를 볼 수 있는 것으로 판단된다.

슬래그를 혼입한 shotcrete의 압축강도 실험결과를 나타내었다. 슬래그의 경우 혼입량에 따라 약간의 강도 증진 효과를 있는 것으로 나타났으나 콘크리트에서 보여지는 장기 강도 증진 효과는 미미한 것으로 나타났다. 또한 시멘트 중량의 10%를 첨가한 경우와 20%를 첨가한 경우의 결과가 거의 비슷하게 나와 20% 정도까지는 적절히 사용되어도 강도 측면에서는 무방할 것으로 판단된다.

플라이 애쉬는 콘크리트 혼화제로는 널리 인정되어 활발히 사용되는 혼화 재료이다. 특히 장기적인 내구성 증진을 위해서는 거의 모든 콘크리트 배합에서 사용되고 있으며 강도 측면에서도 28일 이후의 강도를 증진시키는 것으로 알려져 있다. 28일 이전의 강도는 플라이 애쉬를 혼입하지 않은 shotcrete가 조금 높게 나오고 있으나 56일 강도에서는 플라이 애쉬 15% 혼입한 shotcrete가 더 높게 나오고 있어 콘크리트에서 보여지는 플라이애쉬의 장기강도 증진 효과가 shotcrete에서도 보여진다고 볼 수 있다.

3.2 투수시험

전반적으로 일반적인 콘크리트 결과보다는 상당히 큰 값을 보임을 알 수 있다. 이는 앞에서 언급했듯이 shotcrete의 제작 특성상 피할 수 없는 특성으로써 다양한 혼화제의 사용을 통해 이를 극복하는 것이 shotcrete의 내구성 향상을 위해 필수적임을 알 수 있다.

전체적으로 각 변수당 3개의 시편을 제작하여 실험을 수행하였다. 가장 높은 투수율을 보인 시편은 공기연행제를 혼입한 경우였고, 가장 낮은 투수율을 나타낸 시편은 실리카흙 10%를 혼입한 shotcrete였다. 이는 공기연행을 통해 shotcrete 내에 더 많은 공극이 발생함으로써 투수율이 더 높아진 것으로 판단되며, 실리카 흙의 경우 투수율 향상 면에서도 상당한 효과가 있다고 생각된다.

3.3 동결융해시험

기존의 연구결과를 보면 동결융해 저항성 증진을 위해서는 콘크리트 내의 공기량을 증가시키는 방법이 가장 보편적인 것으로 보고되고 있다. 본 실험에서 사용된 쏿크리트 배합의 경우 단위 시멘트량이 550kg으로 상당히 많아서 강도 특성 면에서도 상당한 수준을 확보하고 있고 또한 앞서 투수율 성능평가 실험에서도 살펴보았듯이 일반 콘크리트에 비해 높은 공극율을 가지고 있는 것으로 나타났다. 따라서 쏿크리트의 동결융해 저항성의 경우 일반 콘크리트에 비해 전체적으로 상당히 높은 성능을 보여주고 있다.

모든 시편이 300회까지 상대동탄성계수가 60%이하로 떨어지지 않았으며 300회에서 측정된 상대동탄성계수가 85~95%를 상회하고 있는 것으로 나타났다.

3.4 중성화시험

슬래그나 플라이애쉬의 경우 혼입에 따라 오히려 중성화 깊이가 증가하는 경향을 보이고 있는데 슬래그의 경우 20%까지는 큰 영향이 없는 것으로 보이나 플라이 애쉬의 경우에는 시멘트 중량 대비 30%를 첨가할 경우 중성화에 의한 심각한 열화가 우려된다. 따라서 다른 특성을 종합하여 적절한 혼입량을 산정하여야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

쏿크리트의 내구특성을 알아 보기 위한 광범위한 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

① 실리카흙의 양이 증가할수록 염소이온 투과량이 감소하는 경향을 보여 실리카흙이 쏿크리트 내구성을 크게 증진시킴을 알 수 있었다.

② 300회까지의 상대동탄성계수는 모든 변수에서 60%이상으로 85~95%를 상회하는 결과를 보였다.

③ 플라이애쉬는 혼입에 따라 중성화깊이가 오히려 증가하는 경향을 보여 중성화에 의한 열화가 우려되는 쏿크리트 구조물에 다량의 플라이애쉬를 사용하는 경우에는 주의 기울여야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. (주)대우 건설기술연구소, "SHOTCRETE 성능개선 연구," 1992
2. 현대건설기술연구소, "강성유보강 쏿크리트의 적용성에 관한 실험적 연구," 1995
3. SK건설연구소, 고품질 쏿크리트 개발 연구," 1999
4. ACI Committee 506, "Guide to Shotcrete," ACI Manual of Concrete Practice Part5, 1995