

-shotcrete

Shotcrete



원종필*
Jong-Pil Won



박찬기**
Chan-Gi Park



박해군***
Hae-Geun Park



장수호****
Soo-Ho Chang



심재원*****
Jae-Won Shim



김완영*****
Wan-Young Kim

1. 시방서 개정 방향

2009년도 개정 콘크리트표준시방서에는 기존 시방서에서 shotcrete의 적용범위를 산악터널로 한정하여 제정되어 있는 내용을 터널, 지하공간, 사면안정, 보수보강 등으로 shotcrete가 적용되고 있는 모든 분야를 포함하도록 하였으며, 현재 shotcrete에 대한 규정을 가지고 있는 각종 국내 시방서를 통합할 수 있는 내용으로 개정되었다. 또한 현재 shotcrete의 장기내구성 측면과 영구지보재로서의 역할을 요구하고 있어 이러한 내용을 추가하여 점진적으로 합리적인 시방서로 개정된 변화를 보여주었다.

이러한 새로운 관점변화의 요구는 강도위주의 shotcrete 설계에서 이미 내구성 및 사용성, 영구지보재로서의 역할 측면을 고려하기 시작하고 있는 ACI, JCI 및 EFNARC 등의 기준과 비교하여 국내 shotcrete 적용분야의 기준 제시를 합리적으로 개정함으로써 shotcrete에 대한 새로운 이해욕구를 만족시키도록 하였다.

ACI, JCI 및 EFNARC 등의 shotcrete에 대한 기준은 shotcrete를 기존 국내 시방서와 같이 산악터널로 한정하여 규정하지 않고 터널, 지하공간, 사면안정, 보수보강 등의 모든 분야를 포함하고 있으며, 강도위주의 규정과 함께 내구성을 강조하고 있다. 또한 기존 국내 터널에서 적용하고 있는 shotcrete의 임시지보재로서의 역할에서 영구적인 지보재 역할을 하기 위한 shotcrete 배합 및 재료 변화와 규정을 제시하고 있다.

이러한 방향은 shotcrete의 재료적 특성 변화와 배합, 시공방법 등 변화에 근거를 두고 있다. 따라서 shotcrete의 적용분야에 있어서 재료, 배합, 시공 등에 따르는 전체적인 품질관리 및 규

정이 새로 제시되어야 하며 2009년도 개정 콘크리트표준시방서의 shotcrete 편에서는 이러한 방향을 포함하는 shotcrete의 개념과 재료, 배합, 시공에 대한 전체적인 품질관리 규정 등을 포함하고 있다.

2. 일반사항

일반사항에서는 shotcrete의 적용범위를 기존 산악터널에서 터널, 지하공간, 사면안정, 구조물 보수보강 등으로 확대되도록 수정하였다. 1.1 적용범위에 다음과 같이 수정하였다.

(1) 이 장은 터널 및 지하공간 건설, 사면안정(법면보호), 구조물의 보수보강 공법에 적용되는 shotcrete의 재료 및 시공에 대한 일반적인 기본적인 사항을 규정한다.

이는 shotcrete가 적용되는 다양한 분야를 포함하는 시방서 규정이 제시되어야 하나 콘크리트표준시방서에서는 산악터널에 대한 기준만을 제시함으로써 다른 분야에 적용되는 shotcrete의 경우 명확한 기준이 없고, 이로 인해 산악터널을 제외한 shotcrete 적용시 많은 문제를 발생시켰다. 따라서 개정 시방서에서는 대부분의 shotcrete를 적용분야에 포함함으로써 이러한 문제를 해결하도록 하였다. 개정 shotcrete에서는 영구지보재로 적용하기 위하여 1.2 일반사항에 다음과 같이 제시하였다.

(2) shotcrete는 터널 및 지하공간 구조물의 조기 안정화와 굴착 후 지반이완 및 외력에 대한 안정성 확보를 목적으로 한 임시 지보재의 역할과 영구적으로 구조체의 역할을 하여 장기간의 구조적 안정성 확보를 목적으로 하는 영구 지보재 역할로 대별되므로, 적용 목적에 따른 shotcrete의 요구 성능과 품질을 검토하여 그 기능을 결정하여야 한다.

최근 들어 shotcrete는 장기내구성을 갖는 구조제인 영구지보

* 정희원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수
jpwon@konkuk.ac.kr

** 정희원, 공주대학교 지역건설공학과 교수

*** 정희원, 삼성물산(주)건설부문 토목ENG팀 차장

**** 정희원, 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 책임연구원

***** 정희원, 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원

***** 정희원, 한국수자원공사 K-water연구원 책임연구원

재료역 역할을 강조하는 흐름이 ACI, JCI 및 EFNARC 등 규정에서 나타나고 있다. 따라서 개정 시방서에서는 영구지보재로서의 역할을 포함함으로써 슛크리트의 새로운 흐름에 합리적으로 대응하도록 하였다. 이 밖에 슛크리트의 사면안정, 보수보강 부분에 대한 일반사항 역시 다음과 같이 제시해 슛크리트 적용 분야 전체를 포함하도록 하였다.

- (3) 비탈면, 법면 또는 벽면의 풍화나 박리, 박락의 방지를 위하여 슛크리트를 적용할 경우에는 적용 목적에 일치하도록 재료, 배합 등을 결정하여야 한다.
- (4) 슛크리트에 의한 보수보강 시에는 대상구조물의 기능 및 목적에 일치하도록 슛크리트 면의 처리, 재료, 배합 등을 결정하여야 한다.

스�크리트의 성능설정에 있어서 초기 강도값의 중요성에 따라 요구하는 품질을 만족할 수 있도록 하는 방향으로 초기강도 및 장기강도 등을 포함하여 개정되었다.

표 21.2 슛크리트의 초기강도 표준값

재 령	스�크리트의 초기강도(MPa)
24시간	5.0 ~ 10.0 이상
3시간*	1.0 ~ 3.0 이상

* 영구 지보재 개념으로 슛크리트를 적용할 경우의 초기강도는 3시간 1.0 ~ 3.0 MPa, 24시간 강도 10.0 MPa 이상으로 하며, 장기강도의 감소를 최소화하여야 하며, 1.7.2 (2) 장기강도를 만족하도록 해야 한다(28일 재령 설계기준강도는 35 MPa 이상).

또한 슛크리트의 장기강도와 부착강도(영구지보재일 경우)의 기준을 제시하였으며, 이때 그 결정 값은 국내의 슛크리트에 대한 기준을 통일할 수 있는 범위로 결정하였다. 특히 슛크리트의 장기강도는 슛크리트의 내구성과 관련된 것으로 사용수명을 중요시하는 흐름에 합리적으로 개정되었다.

1.7.2 슛크리트의 장기강도

- (1) 일반 슛크리트의 장기 설계기준강도는 재령 28일로 설정하며 그 값은 21 MPa 이상으로 한다. 단, 영구지보재 개념으로 슛크리트를 타설할 경우에는 설계기준강도를 35 MPa 이상으로 한다.
- (2) 영구지보재로 슛크리트를 적용할 경우 구조적 안정성과 박락에 대한 저항성을 확보하기 위해 압반 및 슛크리트 각 층간의 부착강도를 높일 필요가 있으며 재령 28일 부착강도는 1.0 MPa 이상이 되도록 관리하여야 한다.
- (3) 영구지보재로 슛크리트를 적용할 경우 절리와 균열의 거동에 저항하기 위하여 휨인성 및 전단강도가 우수하여야 한다.

최근 슛크리트는 무근 슛크리트보다 강섬유보강 슛크리트를 포함한 다양한 섬유보강재를 적용한 슛크리트가 널리 적용되고 있다. 따라서 섬유보강 슛크리트에 대한 품질기준으로 일반적으로 설정되는 휨강도와 휨인성 부분을 포함하여 다음과 같이 제시하였다.

1.7.3 슛크리트의 휨강도 및 휨인성

- (1) 슛크리트의 휨강도 및 휨인성의 성능 목표는 재령 28일 값을 기준으로 설정하여야 한다. 휨강도 및 휨인성 시험은 KS F 2456의 방법에 따라 실시하며 목표 휨인성의 설정은 등가 휨강도 및 휨인성지수로 설정할 수 있다.
- (2) 목표 휨인성의 설정은 보강섬유를 포함하는 경우 반드시 필요하며 충분한 안전성을 확보할 수 있는 범위내에서 결정하여야 한다.

또한 슛크리트의 수밀성과 장기내구성에 대한 규정을 포함시켜 다음과 같이 개정하여 제시하였다.

1.7.4 슛크리트의 수밀성 및 장기내구성

- (1) 슛크리트는 물리·화학적 작용에 대해 슛크리트 자체의 열화가 적고, 목불트나 보강섬유의 기능이 장기간 유지될 수 있도록 보호할 수 있는 기능을 갖추어야 한다.
- (2) 슛크리트는 구조물의 기능성 확보와 콘크리트 층의 성분 유출에 의한 열화방지를 위해서 수밀성을 확보하여야 한다.
- (3) 슛크리트의 수밀성을 확보하기 위해서 균열 등이 발생하지 않도록 하여야 하며, 섬유를 사용하여 이를 확보할 수도 있다.

3. 재료

스�크리트 재료에 있어서는 기존 시방서에 포함되어 있지 않았던 보수보강, 영구지보재 구조물과 초기강도 및 장기강도, 내구성, 수밀성을 요구하는 재료 및 배합을 선정하는 방향으로 시방서가 개정되었다. 먼저 재료측면에서는 보수보강 재료에 대한 규정을 다음과 같이 추가 제시되었다.

2.1 일반사항

- (1) 슛크리트에 사용하는 재료 및 배합은 슛크리트의 용도, 적용 목적, 소요의 뿔어붙이기 성능, 슛크리트의 초기 및 장기강도와 그 밖의 필요한 성능을 만족하는 범위 내에서 단위 수량과 급결제의 사용량을 적게 하여야 하며, 뿔어붙이기 장비 및 재료 입수의 난이도 등을 포함한 경제성까지도 고려하여 정하여야 한다.
- (2) 슛크리트의 배합은 타설시험에 의해 소요의 성능을 만족하고 있는지를 확인한 뒤에 선정하는 것을 원칙으로 한다.

- (3) 보수·보강 재료는 대상구조물에 대하여 비교적 얇은 부재에 의하여 소요의 목적을 이루는 것이기 때문에 사용하는 재료는 강도, 내구성, 수밀성이 특히 우수한 것으로 결정하여야 한다.

최근에는 슛크리트의 성능을 향상시키기 위하여 급결제 이외에 다양한 혼화재료를 적용하고 있다. 따라서 개정 슛크리트 편에서는 혼화재료에 대한 내용을 보다 자세하게 규정을 제시하는 방향으로 수정·보완되었다.

2.2.3 혼화재료

- (1) 급결제는 KCI-SC102와 KS L 5108의 규정에 적합한 것이어야 한다.
- (2) 급결제의 첨가량은 시공조건, 사용재료, 조기 강도 발현 효과, 장기강도의 저하정도 등을 고려하여 결정되어야 한다.
- (3) 슛크리트의 조기 강도 발현 효과가 좋고 장기강도의 감소를 최소화할 수 있으며, 인체에 유해한 영향이 없는 급결제를 사용하여야 한다.
- (4) 공기연행제는 건식스�크리트에서는 사용하지 않으며, 습식스�크리트의 경우 동결융해저항성을 확보하기 위하여 사용될 수 있다. 공기연행제는 KS F 2560에 적합한 것을 사용한다.
- (5) 슛크리트의 팽팽성 및 유동성을 향상시키기 위하여 공기연행제, AE 감수제, 감수제 및 고성능 감수제, 고성능 AE 감수제 등을 사용할 경우 KS F 2560에 적합한 것을 사용하여야 하며, 유동화제를 사용할 경우에는 KCI-AD101에 적합한 것을 사용하여야 한다.
- (6) 그 밖의 혼화재료를 사용할 경우에는 소요의 성능이 얻어지며, 또한 슛크리트에 나쁜 영향을 주지 않는 것을 미리 확인하여야 한다.

최근 들어 섬유보강 슛크리트가 널리 적용됨에 따라 섬유보강재에 대한 규정을 제시하고 있다.

2.2.4 보강재

- (1) 철망을 사용할 경우에는 원칙적으로 용접철망으로 하고, KS D 7017에 적합하며 슛크리트 공법에 적합한 것으로 하여야 한다.
- (2) 강섬유는 KS F 2564에 적합한 것 중에서 슛크리트 공법에 적합한 것을 사용하여야 한다.
- (3) (2) 이외의 섬유에 대해서는 소요의 품질을 얻는데 적합하다는 사실을 확인한 후 사용하여야 한다.

스�크리트의 배합에 있어서도 섬유보강재와 혼화제가 포함되기 때문에 이를 고려한 내용이 추가되어 개정되었다.

- (4) (2) 및 (3)에 섬유를 혼합할 경우에는 섬유가 슛크리트에 균일하게 분포될 수 있도록 혼합하여야 하며, 섬유의 뭉침현상과 노출 마찰현상이 발생되지 않도록 하여야 한다.
- (5) (2) 및 (3)에 섬유를 사용할 경우 섬유의 혼입량은 설계기준강도 및 휨인성을 만족할 수 있도록 결정하여야 한다.

스�크리트의 제조에 있어서도 분말급결제와 액상급결제가 많이 적용되고 있어 이를 저장할 수 있는 설비에 대한 기준을 추가하였고, 섬유보강재를 적용하기 위한 설비 등에 대한 규정을 제시하였다.

- (2) 분말 급결제의 저장설비는 분말 급결제의 습기 흡수를 방지할 수 있는 것이어야 한다. 또한 액상 급결제의 경우에는 급결제의 분리 등을 방지할 수 있는 저장설비를 갖추어야 한다.
- (3) 섬유를 사용할 경우 배치 플랜트에는 섬유를 개량하기 위한 호퍼 및 자동계량 기록 장치를 설치해야 하며, 계량오차는 ±3% 이내이어야 한다.

재료의 관리측면에서는 슛크리트의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 급결제의 자재관리 측면을 보다 세밀하게 제시하는 방향으로 개정하였다.

- (2) 급결제의 품질검사는 표 21.3에 따른다. 또한 급결제에 품질시험 결과는 급결제의 투입시기 및 공시체 제조방법(건식 또는 습식), 사용 골재, 다짐방법에 따라 상이한 결과를 나타내므로 급결제 투입시기와 공시체 제조방법, 사용골재의 특성, 다짐방법을 고려하여 급결제의 품질시험을 실시하여야 한다.

표 21.3 급결제의 품질검사

종류	항목	시험·검사방법	시기·횟수	판정기준
급결제	품질	KCI-SC102의 방법과 KS L 5103의 방법	공사시작 전, 공사 중 1회/월, 장기간 저장한 경우 및 종류를 변경한 경우	KCI-SC102와 KS L 5103의 방법에 적합할 것

4. 시공

스�크리트 시공에 있어서는 기존 시방서의 산악터널 뿐만 아니라 터널, 지하 공간, 보수보강, 사면안정 측면을 고려하여 사전 준비, 작업 등을 자세하게 규정하였고, 영구지보재에 대한 슛크리트의 시공에 대한 부분도 포함하여 개정하였다. 특히 시공부분에서는 현장 품질관리에 대한 내용을 자세하게 규정하였다. 현장품질관리는 슛크리트의 성능을 결정하는 중요한 기준으로 국내외의 슛크리트 적용분야에 포함되어 있는 시방서를 전체적으로 포함할 수 있도록 개정하였다.

3.3 현장 품질관리

3.3.1 슛크리트의 검사

- (1) 습식방식에 사용되는 베이스 콘크리트의 굳지 않은 콘크리트의 품질검사는 제 2장 「3.8 현장 품질관리」에 따른다.
- (2) 슛크리트의 장기강도 및 그 밖의 경화 특성에 관한 품질검사는 제 2장 「3.8 현장 품질관리」에 따른다.
- (3) 슛크리트는 제 2장 「3.8 현장 품질관리」의 품질관리검사 이외에 <표 21.4>와 같은 현장 품질관리를 실시하여야 한다.

표 21.4 슛크리트의 현장 품질관리 사항

중별	관리항목	관리내용 및 시험	시험빈도	비고	
일상 관리	배합	배합비 및 사용량검사	타설할 때마다	현장배합시험을 기준	
	시공 상태	스�크리트의 부착, 성상, 반발, 분진발생 등의 관찰	타설할 때마다	-	
	두께	핀 등에 의한 확인	타설할 때마다	-	
	변상	변형 및 균열 등의 관찰	매일	현장측정결과에 따라 대책을 강구	
정기 관리	두께	스�크리트 두께의 검측	터널연장 20 m 마다	아치부 5개소 측벽좌우 각 1개소	
	강도	재령 1일 강도	압축강도시험	· 빔 거푸집: 1회/200 m ²	
		재령 28일 강도	압축강도시험 휨강도 및 휨인성 시험 (보강섬유를 사용할 때)	· 빔 거푸집: 1회/200 m ² · 코어 채취: 1회/1,000 m ²	① 빔 거푸집(KS F 2422) ② 직접코어채취 (KS F 2405, KS F 2566)
기타	강도	단기재령 압축강도 시험 장기재령 압축강도 시험	· 공사 착수전 · 물재원, 급결제 및 현장배합 설계가 바뀔 때 마다 1회	빔거푸집 (KS F 2422)	
	반발률	반발률 측정	· 필요할 때 마다	-	

* 주) 보강섬유를 사용할 경우 상기의 정기관리 품목 중 휨강도와 휨인성 시험을 실시하며 품질관리를 위하여 설계기준에서 구조물의 용도에 맞는 요구 성능을 설정하여 이를 만족하도록 하여야 한다.

스�크리트의 현장 품질관리 측면에서 중요하게 고려되고 있는 두께 및 변상검사에 있어서 두께관리 방법을 제시하였으며, 슛크리트가 영구지보재로 적용되었을 때 실시하게 되는 품질관리 규정을 포함하여 개정되었다.

주) 슛크리트의 두께관리는 다음에 따라 실시한다.

- 1) 슛크리트의 두께는 시공시에는 핀 등을 이용하여 측정하고 정기관리를 위해서는 천공하여 측정하여야 한다.
- 2) 슛크리트의 두께는 검측된 평균 두께가 설계두께 이상이어야 하며 검측된 최소두께는 설계두께의 75% 이상이어야 한다.
- 3) 슛크리트의 두께 측정결과, 두께가 설계두께에 미달하는 구간은 좌우 1m 범위 내에서 재측정하여 상기 (2)항과 같은 기준으로 판정하고 재측정결과 판정 기준에 미달하면 표본면적으로 대표된 전 면적을 설계두께 이상으로 보완하여야 하며, 보완시공의 최소 두께는 30 mm 이상으로 하여야 한다.

섬유보강 슛크리트의 적용에 따른 슛크리트의 현장 섬유용량을 규정할 수 있는 규정을 추가적으로 제시하였다

3.3.3 영구지보재로 슛크리트가 적용되었을 경우 현장품질관리

- (1) 영구지보재로 슛크리트가 사용되었을 경우 <표 21.4>의 현장 품질관리 사항 이외에 정기관리로 부착강도, KS F 2456에 의한 동결융해저항성 시험 및 KS F 2711에 의한 투수저항성 시험을 실시하여 목표로 하는 소정의 성능을 발휘하여야 한다.

3.3.4 슛크리트 내에 포함된 섬유 혼입률 검사

- (1) 슛크리트 혼입물 내의 강섬유 혼입량은 투입 기준량의 75% 이상이어야 하며, 혼입률 시험은 터널 내에 시공된 슛크리트에서 직접 코어(Ø100 mm 이상)를 채취한 후 KCI-SF109의 규정에 따라 실시하여야 한다. 단, 적용된 슛크리트가 목표로 하는 휨강도, 휨인성을 만족할 경우 혼입률 검사를 생략할 수 있다.

5. 맺음말

개정 콘크리트표준시방서 슛크리트편은 기존 산악터널에 한정되어 있던 슛크리트를 터널, 지하공간, 보수보강, 사면안정 등으로 확대하고 강도위주의 개념에서 내구성 개념으로 확대하였다. 이에 따른 개념, 재료, 시공, 품질관리 측면에서 많은 부분이 개정되었다고 할 수 있다. 특히 기존 국내외의 많은 슛크리트 시방서를 통합하는 방향으로 개정되어 실무자들의 적용기준에 대한 혼동을 최소화하도록 하는 방향으로 개정되었다고 할 수 있다. 본 고가 새로운 시방기준을 이해하는데 도움이 되기를 기대한다. □

참고문헌

1. 건설교통부 제정, 콘크리트표준시방서, 2003, 제 17장 슛크리트.
2. EUROPEAN SPECIFICATION FOR SPRAYED CONCRETE, EFNARC, 1999.
3. Specification for shotcrete ACI 506. 2-95, 1995.
4. 슛크리트 복공에 의한 Single shell의 설계에 관한 검토 보고서, 일본 Geo-Front 연구회, Single shell 분과회, 슛크리트 설계 SWG.
5. 건설교통부제정 터널표준시방서, 슛크리트편.
6. 도로설계편람, 슛크리트편.
7. 건설교통부, 2004건설핵심기술연구개발사업, 대형·대단면 지하공간 창출을 위한 지하공간 건설기술 개발, 최종연구보고서.
8. 고속도로표준시방서, 한국도로공사.

담당 편집위원 : 권기주(한국전력공사) kyeunkjoo@kepco.co.kr