

## 습식 슛크리트 공법의 시험시공 개요 Summary of Practical Test for Wet Shotcrete Method



손 용 수\*

### 1. 시험시공의 개요

#### 1.1 시험시공의 추진경위

현재 국내에서 보편화되어 있는 건식 슛크리트 (shotcrete) 공법은 시멘트, 세골재, 조골재 및 분말형 급결재를 건조한 상태로 혼합하여 공기압력으로 호스를 통하여 압송하고 노즐에서 압력수를 가하여 분사하는 공법이다.

그러나 건식 슛크리트의 단점은, 탈락율과 강도에 절대적인 영향을 주는 물·시멘트 비의 조절이 노즐만에 의하여 수동조절되므로 균일하지 못하며 W/C비가 적어 탈락율이 높고, 분진과 비산석이 많아 작업환경의 오염은 물론 시야가 가려 정밀 시공이 불가능한 것이 결정적인 단점이다.

특히 대규모 지하 비축시설 공사인 U-1 현장은 NATM 보강공법으로 지반의 이완이나 균열을 방지해야 하므로 슛크리트 작업은 영구 지보공으로써 품질관리 측면에서 강도와 시공두께가 설계에서 요구하는 조건으로 균일하게 시공되어야만 하였다. 공정관리 측면에서는 천공, 장약, 버력처리, Grouting, Rock Bolt, 기·전 설비 등이 인접작업장에서 연속하여 수행되어야 하고, 쾌적한 작업환

경을 유지하기 위해서도 분진발생은 최대한 억제할 수 있어야 하였다. 그리고 과도한 rebound 발생을 저하시켜 경제성 측면에서도 공법을 개선해야 할 필요성이 많아 지속적으로 신기술·신공법의 도입을 추진하였다.

선진 외국의 경우에는 습식 슛크리트 공법이 분진 발생량을 저감시켜 작업환경을 개선하고 탈락율의 저하로 공사비를 절약하였다. 또한 강섬유 보강재의 용이한 사용과 Robot에 의한 기계화 시공으로 3~20m<sup>3</sup>/hr의 대용량 타설이 가능한 공법으로 실용화되고 있다. 그러나 습식 슛크리트 시공은 기존 건식 슛크리트 공법과는 큰 차이가 있어 습식 슛크리트 공법을 정착시키기 위해서는 사용장비, 작업원의 기능도, 사용재료의 배합 등 전반적인 시공방법의 명확한 규명이 요구되므로 이를 규명하기 위하여 시험시공을 실시하였다.

#### 1.2 시험시공 목적

터널이나 암 절개면은 굴착한 직후에는 안정한 것처럼 보이는 지반도 시간이 경과함에 따라 낙반이나 이완이 발생된다. 이것을 미연에 방지하기 위한 지보공으로 슛크리트를 시공하는데, 건식 슛크리트 공법은 시멘트 콘크리트 혼합물을 건조한

\* (주) 삼림건설터트 U-1 시공 감리단장

상태로 혼합하여 노즐에서 불과 혼합시켜 분사하는 공법이므로 W/C비가 적어 리바운드량이 많아 비경제적이며 타설시에는 분진발생이 극심하다. 특히 T/L 내에서는 갭내 환경오염은 물론 인접지역에서의 병행작업도 불가능한 실정이다. 이와 같은 건식 슛크리트의 단점을 보완할 수 있는 습식 슛크리트 공법의 기술을 개발하기 위하여, 적정 배합설계, 장비선정, W/C비, 혼화제 성능, 리바운드량의 감소정도 등을 규명함으로써 습식 슛크리트의 시공성과 경제성을 규명하는데 그 목적을 두었다.

### 1.3 시험시공 내용

- ① 시험시공 기간 : 1993년 6월~1994년 2월
- ② 시공장소 : U-1 비축기지 건설현장
- ③ 시험장비 : 습식 슛크리트 생산, 운반 및 타설 장비 및 측정용 시험기구
- ④ 시험종류 :
  - 재료의 물리적성질 시험
  - 장비성능, 적정 슬럼프 및 실내 배합설계 시험
  - 현장 터널내 시험타설 및 현장 배합설계 시험
  - 타락율 시험

## 2. 습식 슛크리트 공법

### 2.1 습식 슛크리트 공법

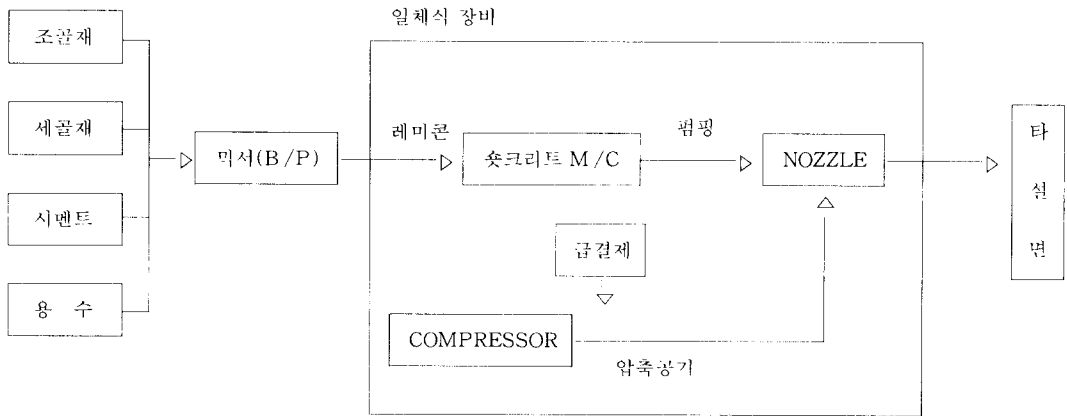


그림 1 습식 슛크리트 작업 공정도

시멘트 및 조·세골재를 건조한 상태로 혼합하여 압축공기로 호스를 통하여 압송하고 노즐에서 압력수를 가하여 분사하는 건식 슛크리트 공법에 비하여 습식 슛크리트 공법은 시멘트, 세골재, 조골재 등 슛크리트 재료와 물을 일정 배합비에 따라 혼합하여 배합이 완료된 재료를 펌프나 압축공기로 압송하고 노즐에서 압축공기를 가압하여 분사하는 공법으로 작업공정은 그림 1과 같다.

### 2.2 습식 슛크리트 공법의 장·단점

터널, 대규모 지하동굴 구조물, 댐 및 도로공사에서 암반이나 토사지반을 굴착, 발파할 경우 지반의 이완이나 균열이 발생된다. 이러한 지반의 이완을 억제하여 사면활동이나 낙석을 방지하기 위한 지반보강 및 지보공법으로 슛크리트를 타설할 경우 신속하게 보강작업이 가능하므로 슛크리트 이용은 날로 증가하고 있다.

그러나 국내에서 적용되고 있는 슛크리트 공법은 인원, 장비, 시공기술의 개발 등 전반적인 여건에 의하여 건식 슛크리트 공법이 시공되고 있으나, 시멘트 콘크리트 혼합물을 건조한 상태로 혼합하여 분사하는 공법이므로 리바운드량이 많고, 작업중 과도한 분진이 발생되어 재료의 낭비 뿐만 아니라 작업효율의 저하 및 작업환경이 불량하며 비경제적인 시공이 되고 있어 이를 보다 개선할 수 있는 습식 슛크리트 공법의 장·단점을 요약하면 다음 표 1과 같다.

표 1 습식 슛크리트 공법의 장·단점 비교

구분	장점	단점
소요장비 및 배합	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 재료량을 계량하여 혼합하므로 완벽한 Mixing 가능</li> <li>· 장비 및 Hose의 마모율이 적다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 재료의 생산·운반 및 타설에 소요되는 장비가 대형이고 고가이다.</li> </ul>
품질관리 및 시공성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 타설시 분진이 거의 발생하지 않아 작업환경이 양호</li> <li>· 타설부위를 육안으로 관찰할 수 있어 품질관리가 용이</li> <li>· 리바운드량 저하</li> <li>· 균질한 품질유지 가능 (W/C비 등)</li> <li>· 3~20m<sup>3</sup>/hr의 대량타설이 가능하므로 넓은 면적의 연속작업에 유리</li> <li>· S.F.R.S 시공에 적합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 누수구간에서 부착을 저하</li> <li>· 타설면이 기질게 나타난다.</li> <li>· W/C비가 높아 하중에 의한 Down Fall 한계가 낮다.</li> <li>· Robot의 사용시 고도의 기능도 요구</li> </ul>

### 3. 시험시공 방법

#### 3.1 습식 슛크리트 정착의 선결과제

건식 슛크리트 공법이 보편화되어 있는 국내 실정에서 습식 슛크리트 공법을 정착시키기 위해서는 사용재료(골재, 혼화제), 배합, 장비조합, 노즐맨의 기능도, 1회 타설가능 두께, 탈락율, 강섬유와 병행시공 가능성 등의 시공방법과 원가계산 방법을 확정하여야 실질적인 실용화가 가능하므로 시험시공 방법은 이러한 선결과제들을 규명하는데 중점을 두었다.

#### 3.2 시험시공 진행과정

대규모 지하 저장 동굴공사인 당 현장의 슛크리트 공법은 건식공법으로 시공중에 있고 습식 슛크리트 공법에 대한 시공실적이 국내에서는 전무한 실정이므로 습식 슛크리트를 정착시키기 위해서는 시공장비의 적합성, 기능공의 기능도를 시험타설함은 물론 적정 작업량, 소요재료량, 배합 및 탈락율 등 품질관리와 원가계산에 필요한 자료가 수집될 수 있도록 추진하였으며, 그 진행과정은 그림 2와 같다.

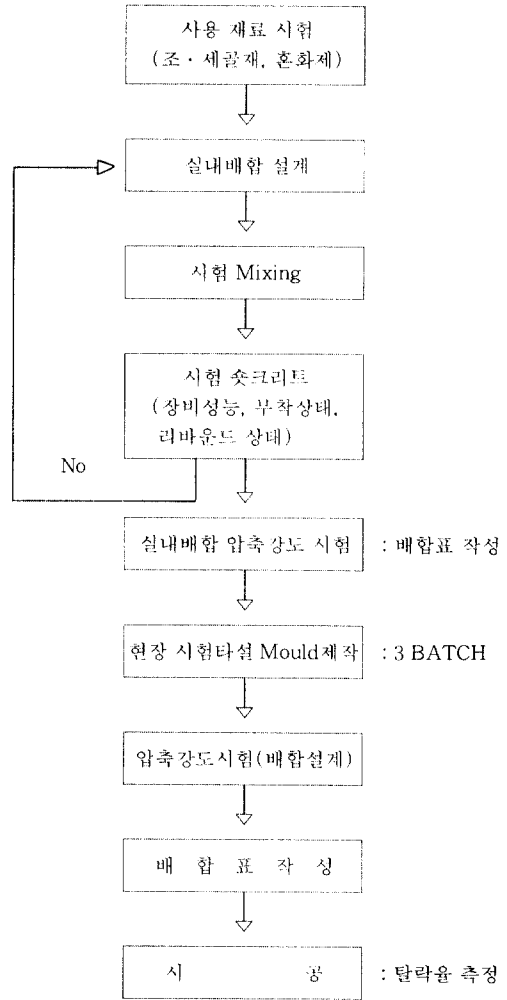


그림 2 습식 슛크리트 시험시공 진행 순서

#### 3.3 시험시공 장비 및 사용재료

##### 1) 시험시공 장비

시험시공 장비는 습식 슛크리트 생산, 운반 타설장비로 구분되며, 주요 제원은 표 2와 같다.

##### 2) 사용재료

시험시공시 사용재료는 시멘트, 세골재, 조골재 및 혼화재료를 사용하였으며, 재료의 물리적 특성은 표 3과 같다.

표 2 사용장비의 주요제원

용도	장비명	주요제원	수량	비고	
췁크리트 생산장비	배체 플랜트	· CAP : 54m <sup>3</sup> /hr · Cement Silo : 100TON · Mixing Drum : 1.2m <sup>3</sup> · 계량 BIN : 3	1대		
		운반장비			믹서 T/R
타설장비	Wet shotcrete rump*	Stabilator Ew 15	· 시공량 : 15m <sup>3</sup> /hr · Pushing 압력 : 50BAR · Power : 15KW	1대	
	ROBOT	Stabilator 75.1	· 시공면적 - 전면 : 15m - 측면 : 7m - 상향 : 10m · 이동거리 : 4.5m · Power : 3.7KW		
	Compressor	Sallair	· 용량 : 21.2m <sup>3</sup> /min · 압력 : 7kg/cm <sup>2</sup>		

표 3 재료의 물리적 특성

재료명	산지	규격	비중	흡수율	마모율	조립율	비고
시멘트	동양	1종	3.15	-	-	-	-
세골재	광양 고사리	-	2.595	0.95	-	3.08	-
조골재	여천 신화석산	13mm이하	2.60	1.80	24.7	-	-
급결재	대주	-	1.38	-	-	-	HICRETEL

## 4. 시험시공 내용

### 4.1 습식 췁크리트 기능도 및 장비성능 시험

습식 췁크리트 장비에 적합한 배합을 규명하고

암반면의 부착성 및 기능공의 기능도를 확인하기 위하여 시험 Shooting을 실시하였다.

장비 성능시험은 우선적으로 주 장비인 Wet Concrete Pump가 압송 가능한 슬럼프치를 규명하기 위하여 설계 기준강도를 만족하는 실내배합을 슬럼프별로 실시하여 시험타설하였으며, 슬럼프별 배합의 재료량 및 시험결과는 표 4 및 표 5와 같다.

표 5 시험 Shooting 결과 요약

슬럼프치	시험결과	비고
14cm	· 타설중 및 타설후에 탈락현상(Down Fall)이 계속적으로 발생	Aliva 275
8cm	· 탈락 및 부착상태가 양호하여 Shooting성도 양호	Aliva 275
7.5cm	상 동	Stavilator - 75iL
5.5cm	상 동	Stavilator - 75iL
5.0cm	· 배합비가 부적합하여 Shooting이 불가	Aliva 275

### 4.2 실내 배합설계

#### 1) 배합설계 기준

실내 배합설계는 현장 배합설계를 수행하기 위

표 6 실내 배합설계 기준

항목	기준	비고
슬럼프	8cm(내외)	
$\sigma_{ck}$	280kg/cm <sup>2</sup>	배합설계 $\sigma_c = 336\text{kg/cm}^2$
급결재	미사용	
단위수량	256kg	
W/C비	55%	기본 Batch

표 4 시험 Shooting 배합비

슬럼프치	W/C (%)	S/a (%)	단위재료량(kg)				사 용 장 비	비 고 (타설량)		
			W	C	S	G				
12cm	14cm	55.0	50	271	493	697	705	24	Aliva - 275	3m <sup>3</sup>
8cm	7.5cm	58.0	66	262	452	957	499	23	Stavilator - 75iL	3m <sup>3</sup>
	8cm	55.3	66	262	474	945	493	24	Aliva - 275	2m <sup>3</sup>
5cm	5.5cm	52.0	60	235	452	918	612	23	Stavilator - 75iL	3m <sup>3</sup>
	5cm	55.0	54	242	440	819	705	22	Aliva - 275	3m <sup>3</sup>

한 기초자료를 얻기 위하여 실시하였으며 장비 성능시험 결과를 기준으로 콘크리트 배합설계와 동일한 방법으로 시행한 실내 배합설계의 시행기준은 표 6과 같다.

2) 시험 Batch 및 강도시험 결과

Batch 번호	W/C (%)	S/A (%)	W (kg)	C (kg)	슬럼프 (cm)	G (kg)	S (kg)	강도(kg/cm <sup>2</sup> )	
								$\sigma_7$	$\sigma_{28}$
T-1	50	50.0	256	512	7.0	717	716	-	421
T-2	55	50.0	256	465	8.0	736	735	-	367
T-3	60	50.0	256	427	9.0	752	751	-	271

3) 실내시험 배합설계표

설계기준 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	골재최대 크기 (m/m)	슬럼프 (cm)	W/C (%)	S/A (%)	단위재료량(kg)				
					W	C	S	G	AD
280	13	8	56.1	50.0	256	456	739	740	-

4.3 현장 배합설계

1) 배합설계 기준

현장배합 설계는 실내배합 설계 결과를 기준으로 급결재를 추가하고 설계기준 강도를 급결재 첨가시 기준강도에 맞게 수정하여 현장에서 Shooting하여 실시한 것으로 배합설계 기준은 표 7과 같다.

표 7 현장 배합설계 기준

항 목	기 준	비 고
슬럼프	8cm(내외)	
$\sigma_{ck}$	210kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_r=252\text{kg/cm}^2$
W/C비	56.1%	기본 Batch
단위수량	256kg	
급결재	시멘트량의 5%	
Mould 제작	Pannel에서 Core 채취	

2) 시험 Batch 및 강도시험 결과

Batch 번호	W/C (%)	S/A (%)	W (kg)	C (kg)	슬럼프 (cm)	G (kg)	S (kg)	AD (kg)	강도(kg/cm <sup>2</sup> )	
									$\sigma_7$	$\sigma_{28}$
T-4	51.1	50.0	256	501	7.0	720	721	25.05	-	311
T-5	56.1	50.0	256	456	7.5	739	740	22.80	-	256
T-6	61.1	50.0	256	419	8.5	754	755	20.95	-	216

3) 현장시험 배합 설계표

설계기준 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	골재최대 크기 (m/m)	슬럼프 (cm)	W/C (%)	S/A (%)	단위재료량(kg)				
					W	C	S	G	AD
210	13	8	56.9	50.0	256	450	742	743	22.50

4.4 탈락율 측정

시멘트 콘크리트 혼합물을 공기압력을 이용하여 뿜어 붙이는 건식 슛크리트 공법은 암반의 이완이나 사면활동을 신속하게 보강할 수 있는 편리한 보강공법이지만 분사 작업중 리바운드되어 떨어지는 양이 많아 재료의 낭비 뿐만 아니라 작업효율의 저하로 공사비도 크게 상승되고 있으므로 이를 크게 저감시킬 수 있는 습식 슛크리트 공법의 탈락율을 확인하기 위한 탈락율 시험을 실시하였다.

스�크리트의 탈락율에 영향을 주는 일반적인 작업조건 즉 타설거리, 타설각도, 노즐맨의 기능도 등은 건식 슛크리트의 현장 경험이 많고 숙련도가 높은 숙련공이 타설하였으며 배합조건 및 탈락율 측정결과는 표 8, 표 9와 같다.

표 8 탈락율 시험 재료량

W/C (%)	W (kg)	C (kg)	S (kg)	G (kg)	급결재 (kg)	슬럼프	비 고
56.9	256	450	742	743	22.5	-	

표 9 탈락율 측정결과

구 분	ARCH			WALL			비 고
	재료량 (kg)	탈락량 (kg)	탈락율 (%)	재료량 (kg)	탈락량 (kg)	탈락율 (%)	
1차	2,213.5	655	29.6	2,213.5	447	20.2	'93.6
2차	2,191.0	340	15.5	2,150.0	277	12.8	'93.12~ '94.2

5. 시험시공 결과 고찰

국내에서 주로 시공되고 있는 건식과는 달리 시멘트, 조골재, 세골재를 배척 플랜트에서 물과 혼합하여 Mixer Truck을 이용 WET Shotcrete Pump에 운반하여 Hose를 통하여 급결재와 함께

Shooting하는 공정으로 시행한 습식 슛크리트의 시험시공 결과를 고찰하면 다음과 같다.

#### 1) 균질한 품질유지

모든 재료량을 계량하여 배치 플랜트에서 혼합하므로 슬럼프 및 워커빌리티의 확인과 균질한 W/C의 관리가 가능하므로 품질관리가 용이하였다.

#### 2) 작업환경 개선

스�크리트 타설시 분진이 거의 발생되지 않아 작업환경이 양호하여 타설면을 직접 관찰할 수 있고 인접지역에서 병행작업도 가능하였다.

#### 3) 탈락율 감소

탈락율은 작업원의 시공경험 축적정도에 따라 현저하게 감소되었으며, 습식 슛크리트의 시행 초기에도 건식에 비하여 크게 감소되었다.

#### 4) 배합설계

배합설계 결과 단위 시멘트량은 건식에 비하여 W/C비가 높기 때문에 약 10% 이상 증가하는 것으로 나타났다.

#### 5) 시공장비 조합

습식 슛크리트의 소요장비는 대형으로 조합장비에 의한 기계화 시공이 요구되므로 초기 투자비의 소요가 크다.

#### 6) 기능공 양성

습식 슛크리트의 시공경험이 전무한 시험시공 초기에 비하여 시공경험이 축적될수록 탈락율이

감소되고 있어 기능공의 양성이 요구된다.

#### 7) 시공개소의 제한

습식 슛크리트는 단위수량이 많아 자중이 크고 재료의 집착성이 낮아 누수지역에서 Down Fall 범위가 크기 때문에 누수지역의 시공에는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

## 6. 결 론

시험시공 결과 습식 슛크리트 공법은 국내에서도 단기간 내에 정착 가능한 것으로 확인되었으며, 특히 국내 현장에서 널리 시공되고 있는 건식 공법은 탈락율 및 분진발생량이 많아 기능공의 작업 기피현상이 심하여 생산성이 낮고 일정한 물·시멘트 비가 유지되지 않아 양질의 슛크리트 시공이 어려운 실정임을 감안할 때 습식 슛크리트 공법은 인위·장비 및 시공기술의 축적이 부족하고 초기투자비가 높으나 향후 지속적인 기술개발과 장비개선 및 숙련공의 교육·훈련에 주력하면 정착될 수 있을 것으로 판단된다.

습식 슛크리트 공법에 대한 시공경험과 기술자료가 전무한 실정에서 이에 대한 기술개발 및 투자가 적극적으로 이루어지는 계기가 되기를 바라는 뜻에서 습식 슛크리트 기술 정착을 목적으로 시행한 시험시공 과정을 소개하였다. 