

제체의 차수 및 보강을 위한 SCB (Soil-Cement-Bentonite) 지중연속벽 공법



김승욱
(주)KER컨설턴트
대표이사
(kerconsultant@gmail.com)



박헌구
대진SCB
대표이사
(daejinscb@gmail.com)



우제근
(주)KER컨설턴트
팀장
(wj1013@daum.net)



김흥택
홍익대학교 토목공학과
교수
(htaek@hongik.ac.kr)

1. 서론

저수지 제체 및 하천제방 등의 노후화로 인해 누수가 발생할 경우 현재까지 이를 보강하는 공법은 일반적으로 차수 그라우팅 공법이 보편적인 안으로 적용되고 있는 실정이다. 차수 그라우팅 공법이 효율적인 대안의 하나이나 공법의 내구성 문제와 지반의 공극을 통해 충전 되는 그라우팅 공법의 특성상 정확한 보강범위 검증 및 파악이 불가능하다는 한계를 극복하기 위해 다양한 그라우팅 공법이 개발되어 적용되고 있다.

본 고를 통해 소개하고자 하는 SCB 지중연속벽체는 설계시 계획된 깊이와 폭을 굴착하는 동시에 정해진 재료로 치환하므로 일반적인 그라우팅공법에 비해 차수성에 대한 정확한 예측과 시공결과에 대한 성과 검

증이 용이한 장점이 있다.

SCB 지중연속벽체의 시공성 및 경제성 개선을 위해 압과쇄용 웨지가 장착된 Long Boom 백호를 이용한 차수벽체 시공방법 개발로 시공기간 단축 및 보다 확실한 차수, 제체의 보강과 더불어 경제성 향상을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 지중연속벽체의 계획 및 시공방법

2.1 SCB 지중연속벽체의 계획

일반적으로 SCB 지중연속벽체는 차수를 목적으로 사용되며, 오염된 지하수를 차단하기 위한 차수벽 또는 댐 기초지반의 하부로 누수 되는 것을 방지하기 위



그림 1. long boom 백호



그림 2. 압쇄용 웨지가 장착된 버킷

한 용도로는 시멘트를 첨가하지 않는 SB 재료를 사용하는 것이 경제적인 측면에서 매우 유리한 것으로 보고되고 있다. SCB 지중연속벽은 보다 특수한 상황에 적합하며, 일반적인 원지반 흙-벤토나이트 혼합물의 강도가 기초 하중을 지탱하기에 부족한 상황에서, 지하수의 흐름을 차단할 수 있는 차수벽을 설치할 목적으로 최근 몇 년 동안 사용 빈도가 증가하고 있다. 뒤채움 혼합물에 시멘트를 추가하게 되므로, 가중되는 더 큰 하중을 지탱할 수 있는 더욱 견고한 지중연속벽을 형성하게 된다.

SCB 지중연속벽은 기존의 원지반 흙-벤토나이트 재료 보다 많은 장치 및 품질 관리가 필요하다. 뒤채움 믹싱, 샘플링 및 테스트의 전 과정에서 더욱 정밀한 시공이 이루어져야 하기 때문에 원지반 조사, 배합설계, 품질시험 등이 요구된다.

가. 원지반조사

뒤채움재료로 사용되는 흙은 잘 부스러져서 혼합이 용이하여야 하며 유기물, 쓰레기 또는 해로운 이물질이 없어야 하므로, 사전에 굴착 토사에 대한 입도분석을 통하여 원재료로의 사용가능성을 확인하여야 한다.

뒤채움재료의 입도는 표 1과 같다.

표 1. 뒤채움재료의 입도

체 규격	건조상태 통과율	비고
7.62 cm	100%	
NO. 200	> 20%	

표 2. 뒤채움재료의 구성비

구분	벤토나이트	시멘트	물	비고
용량	18~89kg/m ³	30~89kg/m ³	35%	단위체적(m ³) 당

나. 배합설계

지중연속벽체의 재료로 사용할 수 있는 원지반 흙의 종류와 지반상태, 혼합재료의 가격과 설계 등의 여러 가지 요인으로 SCB 지중연속벽에 사용되는 뒤채움재의 배합설계가 필요하며, 일반적인 SCB 지중연속벽 뒤채움재의 구성비는 표 2와 같다.

2.2 SCB 지중연속벽체의 시공방법

SCB 지중연속벽체의 가장 큰 장점은 시공공정이 단순하여 빠른 시공속도로 긴급공사에도 적용이 용이하고 지상에서 굴착작업을 시행한 후 굴착구역을 SCB재

료로 치환을 하므로 확실한 품질관리가 가능하다는 점과 시공과정 전반에 대한 관리감독 및 시공성가에 대한 검증이 용이하다는 점을 들 수 있다.

SCB 지중연속벽체의 시공개요 및 시공절차는 다음 그림 3과 같다.

3. 시공사례 및 품질관리

3.1 시공사례

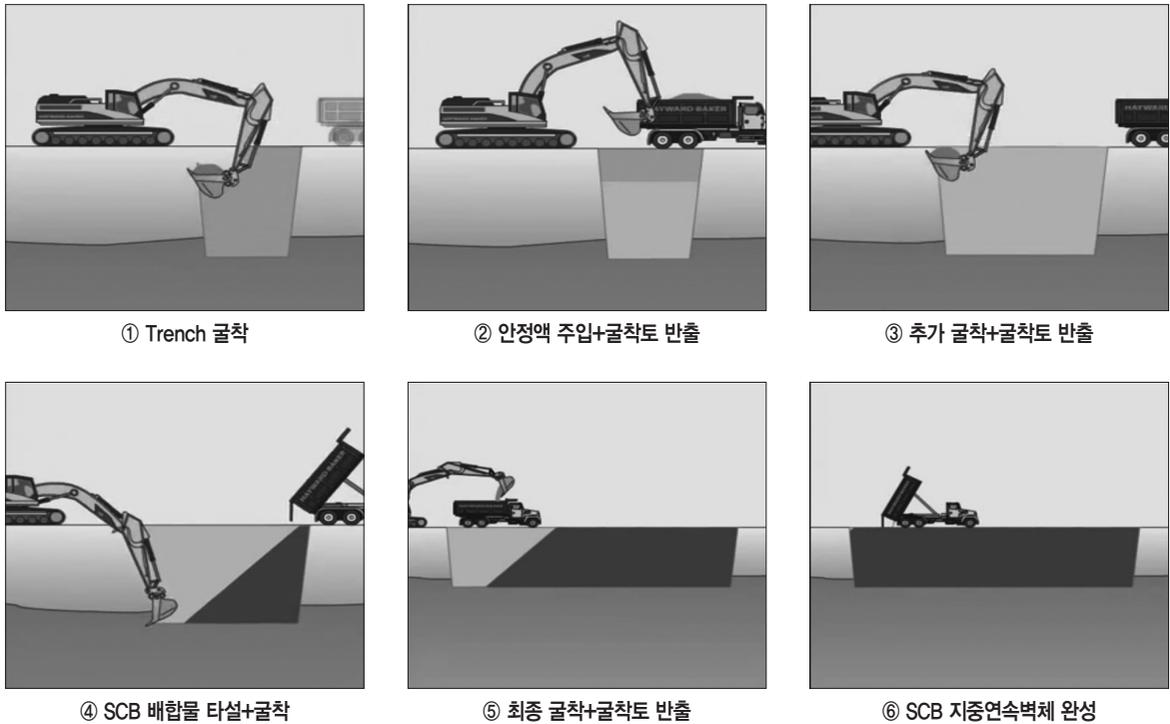


그림 3. SCB 지중연속벽체 시공개요도

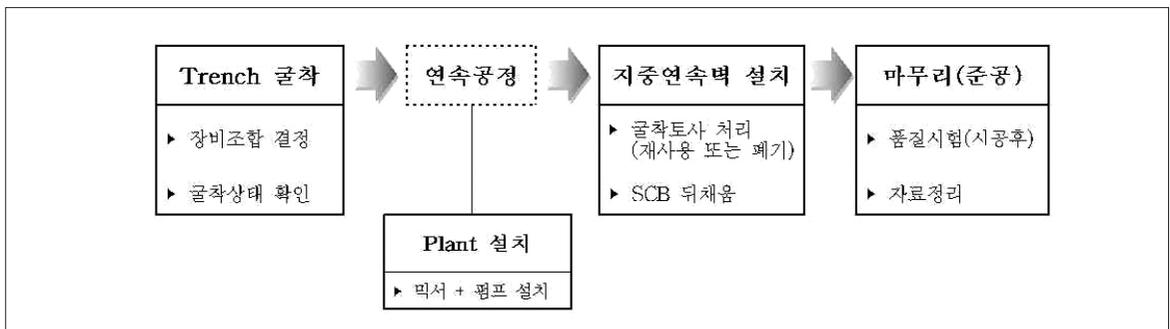


그림 4. SCB 지중연속벽체 시공절차

가. Watkins Dam의 보수를 위한 지중연속벽 설치공사

- Utah주 북부 Ogden시 근교에 위치한 어스필댐
- 길이 : 22.5km, 제체고 : 12.0m
- 2006년11월, 기초지반 침식에 의한 유로형성 및 파이핑 현상 발생
- 댐의 저수량 원상복구 및 완벽한 차수를 위해 CB Slurry Wall 적용
- 시멘트-벤토나이트 차수벽 시공:
 - 총연장 : 8.0km, 깊이 : 약15.3m, 폭 : 76.0cm

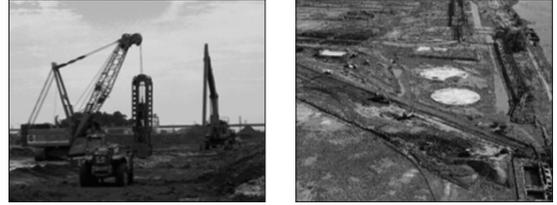


그림 8. 시공전경 및 현장현황, BHP제철소

- 실측 연속벽체 투수계수 $k=5.8 \times 10^{-6}$ cm/s
- 시공속도 : 840m²이상/day
- 시공기간 : 착공일로부터 5개월

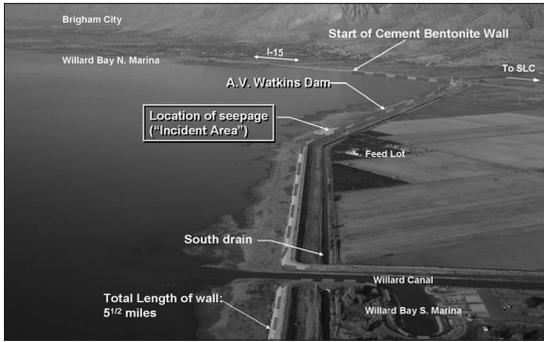


그림 5. Watkins Dam, Utah, USA

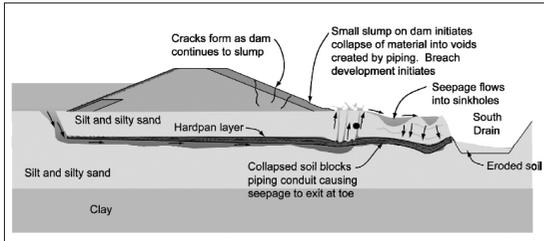


그림 6. 제방단면 모식도

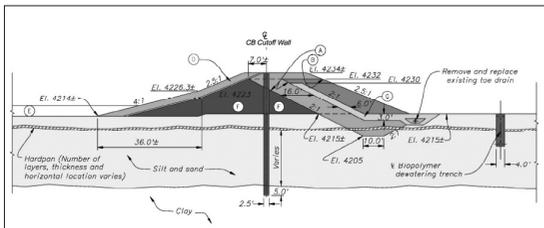


그림 7. 차수보강 단면

나. 호주 Hunter River SB 지중연속벽

- 호주 뉴사우스웨일즈의 메이필드시에 위치한 BHP제철소 부지
- 제철소에서 발생한 오염된 지하수가 Hunter River로 흘러 들어가는 것을 차단하기 위하여 SB 지중연속벽을 설치
- 차수벽 규모 : 총넓이 : 48,000m², 폭 : 91.0cm, 깊이 : 49.0m
- 공사 기간 : 2006년 05월~12월
- 원지반흙과 벤토나이트를 혼합하여 목표 투수계수 1×10^{-7} cm/sec 달성
- 제철소에서 발생하는 금속물질과 폐화학물질이 확산하는 것을 막아 자연환경을 보호하는 좋은 선례가 됨

다. Palm Beach 저수지 건설을 위한 SB 지중연속벽 설치

- 미국 플로리다 남부의 수자원 관리 구역에서 저수지로 전환할 목적으로 골재채석장(Aggregates Quarry)을 매입
- 저수지로 재개발하기 위해 채석장 측면에 Soil-Bentonite 차수벽을 설치
- 채석장 바닥면은 물이 침투하기 힘든 기반암 위에 위치하므로 기반암 위에서 안정적으로 Slurry 벽체가 설치됨

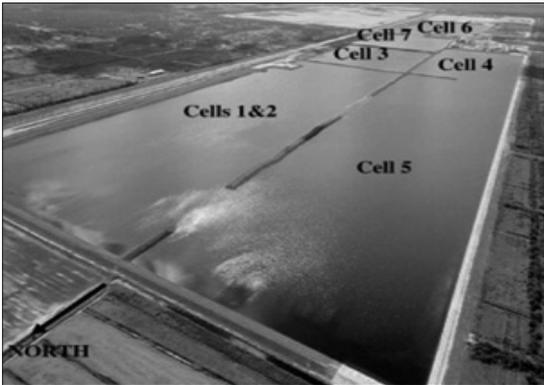


그림 9. 시공 완료된 저수지 전경, Loxahatchee



그림 10. Everglades 습지 공사, Miami, Lakeland FL, USA

- 차수벽 규모 : 총 넓이 69,677m², 폭 : 76.0cm, 깊이 : 24.4m
- 공사기간 : 2005년 06월~2006년 02월

라. CB Slurry wall Installation L-31N Canal

- 미국 플로리다 남부 Everglades 습지에서 L-31 수로로 지하수 침투 방지를 위해 Cement-Bentonite 차수벽체의 시험시공 시행
- 기존의 제방의 하단에는 유공성 석회암이 존재하여 제방 하단으로 상당량의 습지의 물이 침투하는 상황이었음
- 단단한 석회암을 암반파쇄장비를 이용하여 먼저 파쇄한 후, 트랜치 굴착을 시행하며 Slurry 벽체를 설치함
- 차수벽 규모 : 총 넓이 1,680m², 폭 : 60.0cm, 깊이 : 5.4m

3.2 품질관리

가. 굴착

굴착작업이 연속적으로 이루어져야 하고 설계심도까지 굴착하도록 하며, 이에 대한 검증은 현장에서 굴착장비의 움직임(① 굴착되지 않은 원지반에 걸리지 않고 굴착방향으로 장비이동이 가능한지, ② 굴착상

부에서 밑바닥까지 수직으로 통과할 수 있는지) 및 굴착 깊이를 측정하여 확인하며, 굴착토사에 대한 시험 등을 통해 확인할 수 있다.

나. 재료

- 1) 벤토나이트, 시멘트 : 현장에 사용하는 재료는 시방규격에 적합한 재료로써, 제조사의 품질보증서를 받도록 함
- 2) 물 : 재료의 배합에 사용되는 물은 매회 검수함
- 3) 굴착 토사 : 굴착 중간 깊이에서 채취하여 시방규격에 적합한지 품질시험을 실시함
- 4) SCB 뒤채움재 : 시방규격에 적합한 슬럼프와 밀도를 확보해야 하며, 시공전 품질시험을 완료하여야 함

다. 관입시험 및 투수시험

관입시험은 매 3.0~6.0m 마다 굴착방향으로 실시하며, 특히 시공이음부의 경사면과 굴착되는 지반의 바닥부분을 관측함으로써, 굴착면의 붕괴 및 과도한 침전 발생시 대처할 수 있도록 한다.

시공된 지중연속벽체의 투수계수는 현장에서 SCB 뒤채움시 시료를 채취하여 실내시험을 통해 투수계수를 측정한다.

표 3. 굴착 및 뒤택움재료에 대한 자료정리 항목

항목		기준	시험 회수	비고
벤토 나이트	YP/PV 비율	> 3	1회/트럭	미국 석유협회 오일-웰 드릴링액의 원료에 대한 규격
	점도	> 30	1회/트럭	
	여과손실	< 0.015 l	1회/트럭	
	함수량	< 10 %	1회/트럭	
	잔류>75 μ m	< 4 %	1회/트럭	
물	pH	6~8	1/Source	미국 석유협회 오일-웰 드릴링액의 원료에 대한 규격
	경도(Hardness)	< 100 ppm	1/Source	
	전 용해물질	< 500 ppm	1/Source	환경기준
초기단계 벤토나이트 슬러리	점도	> 40 seconds	2/shift	API 수계 드릴링액의 현장시험을 위한 권고 실행 기준절차
	농도	>1,025 kg/m ³	2/shift	슬러리의 농도측정
	여과손실	< 0.025 l	2/shift	API 수계 드릴링액의 현장시험을 위한 권고 실행 기준절차
	벤토나이트 함수량	> 5 %	1/프로젝트	-
SCB 뒤택움 재료	슬럼프	10,16~15,24 cm	1/shift	Con'c 슬럼프 측정
	입도	15(#200)85 %	1/2000cy	체가름 시험
	농도	24 kg/m ³ >	1/shift	슬러리의 농도측정
	투수성	< 1 \times 10 ⁻⁷ cm/sec	1/2000cy	투수시험

라. 자료정리

본 시공에 관련된 품질시험 결과 아래의 기준에 적합해야 하며 발주자의 승인을 받아야 한다. 굴착 깊이와 뒤택움경사 등에 대한 설계도면은 지속적으로 관리하도록 하며 매일 작업종료 후 연장된 굴착과 뒤택움에 대한 내용을 기록하도록 한다.

4. 활용방안 및 제언

본 고에서 소개된 공법은 노후화로 인해 가능성이 저하되는 수리시설의 개보수사업에 적용함으로써 내구성 증진 및 재해에 대한 대비를 할 수 있을 것으로 판

단되며, SCB 지중연속벽 공법을 적용함으로써 다음의 효과가 기대된다.

- 시공성이 개선된 신공법 적용으로 개보수 기간 단축 및 경제성 향상 도모
- 합리적인 품질관리 및 성과검증 방안 제시로 개보수 비용의 효율적 집행 가능
- 경제적인 보수·보강 공법개발을 통해 국가예산 및 유지관리비용 절감 도모

아울러 효과적인 SCB 지중연속벽공법 적용을 위한 토목재료의 개발(배합비 및 시공두께 등) 및 신속한 시공을 위한 장비 및 시공기법의 개발에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Ruffing, D. G., and Evans, J. C., (2010) "In Situ Evaluation of a Shallow Soil Bentonite Slurry Trench Cutoff Wall" Proceedings of the 6th International Congress on Environmental Geotechnics, New Delhi, India
2. Brandt Demars, P.E., Curt Pledger, P.E., Bruce Barrett, P.E. (2009) "A.V. WATKINS DAM MODIFICATION: CEMENT-BENTONITE SLURRY CUTOFF WALL" Proceedings of the United States Society on Dams 29th Annual Meeting and Conference in Nashville, TN, in April 2009
3. Ruffing, D. G., Evans, J. C., and Malusis, M. A., (2010) "Prediction of Earth Pressures in Soil-Bentonite Cutoff Walls," ASCE GeoFlorida 2010 Advances in Analysis, Modeling and Design GSP 199, pp. 2416-2425.
4. Christopher R. Ryan P.E. and Charles A. Spaulding P.E. (2008) "Strength and Permeability of a Deep Soil Bentonite Slurry Wall" Strength and Permeability of a Deep Soil Bentonite Slurry Wall The Challenge of Sustainability in the Geo-Environment Proceedings of the Geo-Congress 2008 ASCE New Orleans LA

