

## 그라우팅을 통한 방조제 바닥보호공 차수공법 현장 적용성 검증

### The verification of the application of grouting in the bottom protection work of sea dikes in the field

이소열<sup>1)</sup>, So-Yeal Lee, 최세경<sup>2)</sup>, Sae-Kyung Choi, 정일한<sup>3)</sup>, Il-Han Jeong

<sup>1),2)</sup> 한국농어촌공사 새만금사업단 차장, Senior Manager, Saemangeum Project Office, KRC

<sup>3)</sup> 한국농어촌공사 농어촌연구원 주임연구원, Staff Researcher, Rural Research Institute, KRC

**SYNOPSIS** : By understanding the construction process of sea dikes and the current state of the thickness and speed of fluid in the bottom layer protection work of final closure gaps, a construction method applicable for the blocking of bottom layer work will be selected. The three construction methods selected will be tested in site through various methods, and the reinforcement of bottom layer protection and impervious effect will be verified.

The verification results are as follows:

- 1) The overall riprap layer were 0.5~1.0m thicker than planned so that the grouting depth and grout input amount increased
- 2) The applied construction methods permeability of riprap layers were improved from  $\alpha \times 10^{-2}$  cm/s before the construction to  $\alpha \times 10^{-4}$  cm/s after construction.
- 3) The results of core extraction in order to grossly verify the hardening time and durability allowed the identification of grout injection effect. The amount of filling of the injection was difficult to judge because the slime in many areas made the reading of borehole photography difficult.

**Keywords** : Sea Dike, Bottom Layer Protection, Grouting, Permeability

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

우리나라 간척기술은 1960년대 국가경제개발사업 및 쌀 자급이란 국정목표에 따라 농경지의 확대와 수자원 확보방안으로 서남해안의 천혜적인 간척적지의 개발이 요구되어 간척전문 기술인이 양성되고 연이은 대규모 간척공사를 시행하면서 크고 작은 실패의 고배를 마실 때마다 우리나라 여건에 부합한 기술을 개발하여 “한국형 방조제단면” 및 “한국형 끝막이공법”을 개발하여 왔다. 이는 외국에서 찾아볼 수 없는 우리나라 독자적인 것이며 그 구조의 특성이나 안정성, 끝막이공법의 경제성 및 시공성은 이미 여러차례 시공경험을 통하여 검증이 되었으며, 일반적으로 간척기술의 핵심인 끝막이공법은 각 국이 지닌 지형, 기술력, 시공재료 등 여러 가지 여건에 따라 간척기술을 개발하여 왔다.

우리나라의 끝막이 공법은 일반구간 방조제가 축조된 이후 끝막이구간에 대하여 지반매트 및 바닥보

호공을 시공한 후 최대한 짧은 기간내에 일시에 끝막이공사를 시행하는 공법이다.

그러나 큰 사석이나 돌망태로 시공되는 상태에서 수중고르기 작업을 할 수 없으므로 수중에서 시공되는 끝막이구간 바닥보호공을 균등한 두께로 수평하게 시공하기 어렵고, 바닥보호공내에 공극이 발생하여 침투유속이 발생하여 이에 대한 대책이 제시되어야 한다.

특히 새만금방조제는 축조 진행에 따라 조류의 개방구간 축소로 인해서 물쏠림 현상이 커진다. 이때 1일 2회 반복되는 조류의 창·낙조에 의해 발생하는 지반유실을 방지하기 위하여 끝막이 계획구간에 1층(2.0~2.5m) 바닥보호공 위에 2층(1.0m) 및 3층(0.8m)으로 규격석 및 돌망태로 지반을 보강하였다.

이는 결국 방조제 1차 사석체를 완공하여 끝막이 된 이후 해수차단 등을 목적으로 방조제 성토 단면을 축조하더라도 바닥보호공에 침투유속이 발생하게 된다. 새만금 방조제 끝막이 구간을 확인한 결과, 바닥보호공이 성토 단면내에 1.0m~4.3m 두께로 통과하여 해측과 내측이 연결되어 있어 해수유입이 예상되며, 파이핑의 가능성이 있으므로 끝막이구간에 대한 바닥보호공 보강 및 변형억제 대책수립 필요성이 대두되었다.

한편 국내의 타 지구 방조제를 살펴보면 끝막이 구간에 all size 사석체로 시공되었으며, 새만금방조제 끝막이구간은 규격석과 돌망태 혼용시공에 따라 타지구와 여건이 다르다. 근래에 준공된 화옹방조제는 성토단면 확대공법을 적용하였으며, 이원방조제 및 대호방조제는 강널말뚝 및 그라우팅 공법을 병행하여 바닥보호공을 보강하였다. 또한 아산 배수갑문 확장 가물막이에는 광폭 U형 강널말뚝을 사용하였으며, 시화호 조력발전소 가물막이에는 강널말뚝을 사용하였다.

## 1.2 연구내용 및 방법

방조제의 시공과정과 끝막이구간 바닥보호공의 두께 및 유속 현황을 이해하여 바닥보호공 차수를 위한 보강대책으로 여러 공법에 대하여 자료 등을 통해 검토한 다음, 바닥보호공 시공재료 및 현장 적용성을 고려하여 적용 가능한 공법을 선정하였다. 특히 적용 가능한 그라우팅 공법중에서 사석층과 준설 성토층 공극에 그라우팅재 주입시 지층의 변형을 억제키 위해 고압분사 방식을 제외하는 등 특성별로 현장에 적용하기 어려운 공법은 제외하고 적용함으로써 시험시공의 비용과 적용기간을 단축하기로 하였다.

선정된 공법을 대상으로 2009년 6월부터 3개월 동안 현장에서 시험시공을 실시하고 여러 가지 검증방법을 통해서 바닥보호공의 보강과 차수효과를 검증하기로 하였다.

## 2. 시공현황

### 2.1 개요

새만금방조제는 1991년 1호방조제를 시작으로 착공하였으며, 방조제 노선의 기초지반 상태는 1, 2, 4호 방조제 구간은 실트질 모래 또는 모래층으로 기초지반이 양호한 편이나 3호 방조제가 연약한 지반이다. 방조제 제고는 각 방조제별로 설계과랑이 상이하며 끝막이 구간이 있는 2호방조제는 EL. 9.6m이다.

표 1. 새만금 방조제 개요

구 분	연 장	제 고	시공기간	위 치	비 고
계	28,759m				
▪ 1호 방조제	4,694m	EL.+10.2m	1991~1998	대항리~북가력도	끝막이 2.7km 포함
▪ 2호 방조제	9,936m	EL.+ 9.6m	1992~2010	북가력도~신시도	
▪ 3호 방조제	2,693m	EL.+ 8.5m	1992~2010	신시도~야미도	
▪ 4호 방조제	11,436m	EL.+11.0m	1992~2010	야미도~비응도	

## 2.2 끝막이구간 현황

새만금 2호 방조제는 가력도와 신시도를 연결하는 총 연장이 9.9km이며 이중에서 끝막이 구간은 2개 소 2.7km이다.

사석끝막이 공정의 효율적인 수행과 개방구간 축소에 따른 조류속의 증가로 세굴 침식의 우려를 해소하기 위하여 바닥보호공을 1.0m~4.3m 두께로 내측까지 연장하여 시공하였으며, 상부를 준설성토재로 충전하였으나 상대적으로 투수성이 큰 층이 해측과 내측으로 연결되어 있는 상태이다.

## 2.3 끝막이 시공내용

끝막이 GAP1구간의 평균수심은 EL(-)13.14m, GAP2구간은 평균수심이 EL(-)24.53m이며, 바닥보호공사석층은 규격석 및 돌망태를 혼용하여 3층(두께 4.3m)으로 포설하였고, 끝막이 시행전까지 물넘이(Sill) 표고는 GAP1구간이 EL(-)10m, GAP2구간이 EL(-)16m을 유지하고 있었다.

표 2. 끝막이 시공내용

구 분	끝막이구간		바닥보호공		물넘이(상고공)	
	위치	길이	폭	두께	폭(상폭)	Sill
GAP1	No.18~34	1,600m	366~484m	1.0~4.3m	54.5m	EL(-)10m
GAP2	No.85~96	1,100m	384~535m	1.0~4.3m	69.5m	EL(-)16m

## 2.4 끝막이(GAP1) 시공결과

끝막이 구간에 대한 1차 사석재 시공은 2006. 4. 21일에 완료되었고, 이후 준설해사를 이용하여 최종 단면을 형성하였다. 바닥보호공 두께를 횡단방향으로 확인한 결과 1.0m~4.3m로 불균등하게 시공되어 있었다. 또한 끝막이 이후 방조제 GAP1 구간 바닥보호공 유속을 측정해보니 방조제 내외 수위차 3.4m에서 평균유속이 3.9cm/s였으며, 해·호측에 간극수압계를 설치하여 분석한 결과 바닥보호공의 수두차는 만조시 0.42m, 간조시 최대 1.4m로 준설해사 충전효과로 인해 수두차가 발생하였으며 전기비저항 탐사 결과 바닥보호공을 통한 주된 해수유입 예상구간이 19곳 680m로 관측되었다.

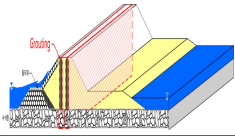
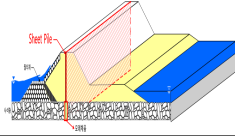
따라서 바닥보호공내 충전된 준설해사는 세립분이 빠져나가면서 유로가 형성되어 파이프 가능성과 급격한 체제변형 가능성을 감안하여 바닥보호공 보강 및 변형억제 대책수립 필요하였다.

## 3. 현장 적용 시험시공

### 3.1 공법선정 기준

바닥보호공 보강을 위한 공법을 검토한 결과 방조제 축조 및 도로포장 공사가 대부분 진행된 상태에서 적용하기에는 현실적으로 불가능하거나 실효성이 미흡한 공법은 제외하였으며, 최종적으로 끝막이(GAP1)구간에 대해서는 준설토가 일부 충전 상태이므로 강널말뚝 공법에 비해 경제적이고 공사기간이 적게 소요되는 그라우팅 공법을 현장에 적용하여 시험시공 하기로 하였다.

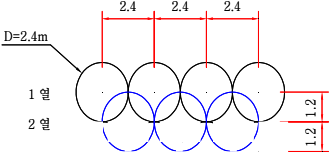
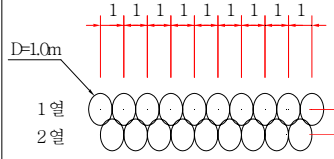
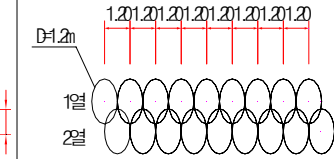
표 3. 바닥보호공 차수공법 비교·검토

공법	그라우팅 공법	강널말뚝 타설공법	비고
내용	○바닥보호공 하부 일정심도까지 보링을 하여 약액시멘트, 몰탈을 주입·고결시켜 차수층을 형성	○바닥보호공 하부 기초지반의 일정심도까지 강널말뚝을 타설 차수벽을 설치	
단면도			
시공성	용이	용이	
추정 사업비	9백만원 / m당	14백만원 / m당	
장점	○지수대책의 일반적인 공법 ○공법선택이 다양 ○초기 지수효과 우수	○시공실적이 많고 차수효과 확실 ○내구성이 뛰어나 ○계획심도에 따른 근입깊이 확인가능	
단점	○방조제 시공실적이 적음 ○해수용탈로 내구성 저하 ○깊은 심도에서 수직도 관리 및 2~4T/EA 크기의 사석층에서 구근형성 어려움	○진동으로 공벽 붕괴시 공기지연 ○대형장비 조합으로 안전대책 필요 ○이음부 이탈 및 찢어질 우려	

### 3.2 시험시공 적용공법

현장에 적용하기 위한 시험시공을 위하여 여러 가지 그라우팅공법을 사전에 검토한 결과, 사석층과 준설 성토층 공극에 그라우팅재 주입시 지층의 변형을 억제하기 위하여 고압방식은 제외하고 중압 및 저압방식 중에서 선정하였으며, 겔타임(고결시간), 내구성 확보, 차수효과 등을 고려하여 현장에 적합한 PPG(Pneumatic Permeation Grouting)공법, CGS(Compaction Grouting System)공법, JS-CGM(Just Selected Chemical Grouting Method)공법 등 3개 공법을 선정하여 시험시공을 실시하였다.

표 4. 그라우팅 세부공법별 장단점 비교

공법 내용	PPG공법	CGS공법	JS-CGM 복합공법
시공방식	Ø150mm, 공압침투	Ø110mm, 압밀주입	Ø120mm, 압밀주입
천공수/간격	25공/공2.4m, 열1.2m	60공/공1.0m, 열0.8m	50공/공1.2m, 열0.8m
배치도			
주입재	· 토사 : UGC 7000시멘트 · 사석 : UGC 4000시멘트 + 모래	시멘트 + 조골재(석분) + 마사토	· 토사 : 시멘트+모래+혼화제 · 사석 : 습식시멘트+실리카 + 겔화안정제+기타
장점	·방조제 보강용으로 개발 ·저압침투로 충전효과 높음 ·시멘트의 수화도 조절가능	·저유동성으로 슬라임 적음 ·균일한 구근형성 가능 ·주변지반 압축강도 증대	·동수층에서 급결재주입 가능 ·다층지반에서 구근형성 용이 ·조기강도 발현 우수
단점	·개량체의 강성이 적음 ·침투공법으로 코어채취 난이	·슬럼프치 시공관리 유의 ·공경이 작아 공사기간 소요	·복합공정 시행에 따른 시공관리 유의

### 3.3 시험시공 내용

시험 시공기간은 검증기간을 포함하여 2009.6.20일부터 9.20일까지 3개월 동안 실시하였으며, 시공구간은 2호방조제 No.23+50~25+40(수변도로 1:4사면 끝단 5m지점)에서 각각 공법별 2열 각 30m, 공법간 이격거리 50m로 하였다.

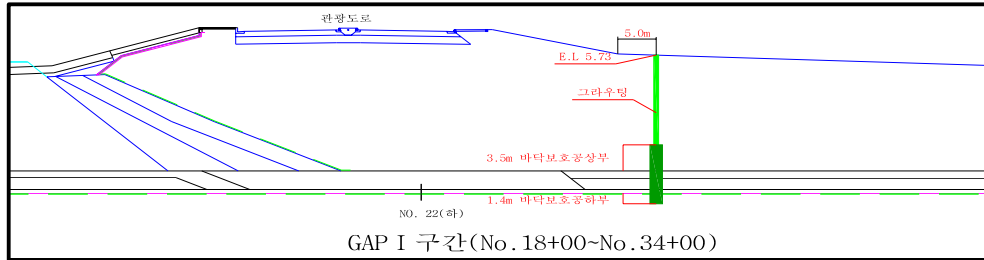


그림 1. 끝막이구간 그라우팅 시공 모식도

또한 시공기준은 해수 흐름을 고려한 고결시간 조절이 용이하고 용탈현상을 방지하기 위한 내구성이 확보되어야 하며, 투수계수는  $\alpha \times 10^{-4}$  cm/s 이상으로 하였다

### 3.4 시험시공 결과

시험시공 결과 준설토 및 원지반 구간은 계획 대비 시험시공 실적이 동일하게 주입되었으나, 사석층 구간에서는 PPG, CGS공법이 계획대비 0.2~1.0m 증가하였고, JS-CGM공법은 0.3m 감소하였다. 공법별 천공 및 주입 평균심도와 시험시공 결과는 아래 <표 5>, <표 6>과 같다.

표 5. 공법별 천공 및 주입 평균심도

(단위: m)

구 분	PPG공법			CGS공법			JS-CGM공법		
	계획	결과	증감	계획	결과	증감	계획	결과	증감
준 설 토	3.5	3.5	-	3.5	3.5	-	3.5	3.5	-
사 석 층	3.5	4.5	<b>1.0</b>	3.8	4.0	<b>0.2</b>	3.5	3.2	<b>Δ0.3</b>
원 지 반	1.4	1.4	-	1.4	1.4	-	1.4	1.4	-

표 6. 공법별 시험시공 결과 요약

공법		PPG공법	CGS공법	JS-CGM 복합공법
투수계수	당초	$1.90 \times 10^{-2}$ cm/s	$2.39 \times 10^{-2}$ cm/s	$1.58 \times 10^{-2}$ cm/s
	변경	$2.73 \times 10^{-4}$ cm/s	$3.90 \times 10^{-4}$ cm/s	$1.21 \times 10^{-4}$ cm/s
겔 타임		0.5~1시간	4~5시간	4~5시간
코어채취		양호	양호	양호
압축강도		10.7 MPa	13.4 MPa	31.6 MPa

## 4. 현장적용 결과 검증

### 4.1 검증방법

표 7. 검사횟수 및 내용

구 분		검사횟수	내 용
물리 탐사	전자탐사	4회	중앙열, 호추 5m지점 시공 전·후 2회
	전기비저항탐사	4회	"
	굴절법 탄성파탐사	3회	중앙열 시공전 1회, 시공후 2회
공내 수위모니터링		3개소	관측공 2개소, 검사공 1개소
공내촬영(BIPS)		2회	검사공 2개소, 시공전 확인불가
투수시험		4회	조사공 1개소, 검사공 3개소
코어채취		3회	검사공 3개소

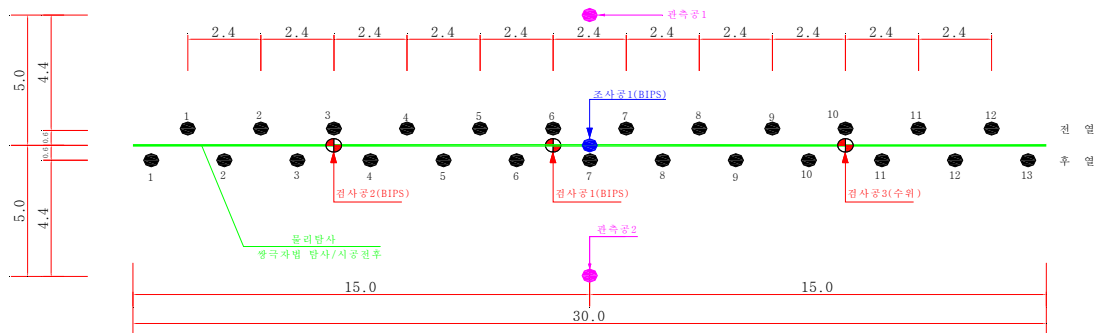


그림 2. 그라우팅 검사공 위치도

### 4.2 검증결과

#### 4.2.1 정밀 물리탐사

- 탐사방법 : 전자탐사, 전기비저항탐사, 탄성파탐사, 수위 모니터링
- 조사공정 및 수량

조 사 공 정	조사량	단 위
소형루프 전자탐사	4	측 선
전기비저항탐사(측선별 3회)	4	측 선
굴절법 탄성파탐사(측선별 3회)	3	측 선
수위 모니터링	1	식

- 탐사결과

- 전자탐사 및 전기비저항 탐사 : 그라우트 주입 이전에 비해 전기비저항이 높아짐 바닥보호공의 사석재 주변을 그라우트가 충전

- 굴절법 탄성파탐사 : 그라우트 주입 이전은 1.4~1.8 km/sec 이상 속도분포에서 주입이후 속도 분포가 0.4~1.0 km/sec 이하로 분포

GT 전후의 굴절법 탄성파탐사 해석 결과 (GT 시험시공 직상부)

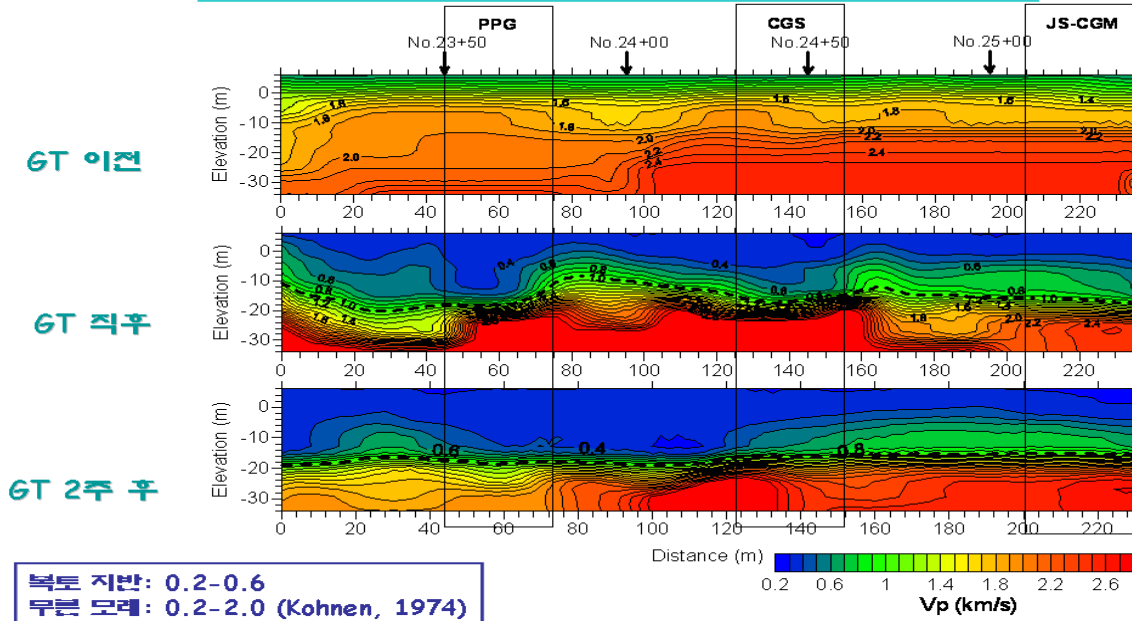


그림 3. 굴절법 탄성과 탐사 해석 결과

- 수위 모니터링 : 해측 및 내측에서의 지하수위 관측결과 그라우팅 이전에는 방조제 체체를 통한 직접적인 해수유입이 확인되었다. 그러나 그라우팅 이후에는 CGS 주입구간에서 상대적으로 약간의 시간 지연이 나타났지만 3지점에서 큰 차이는 없는 것으로 나타남

GT 종료 후 2주 후(2009.09.15~09.20) 시공구간 직상부 관측공의 수위 관측 결과와 조위변화에 따른 관측공 수위 변화의 교차상관 분석 결과

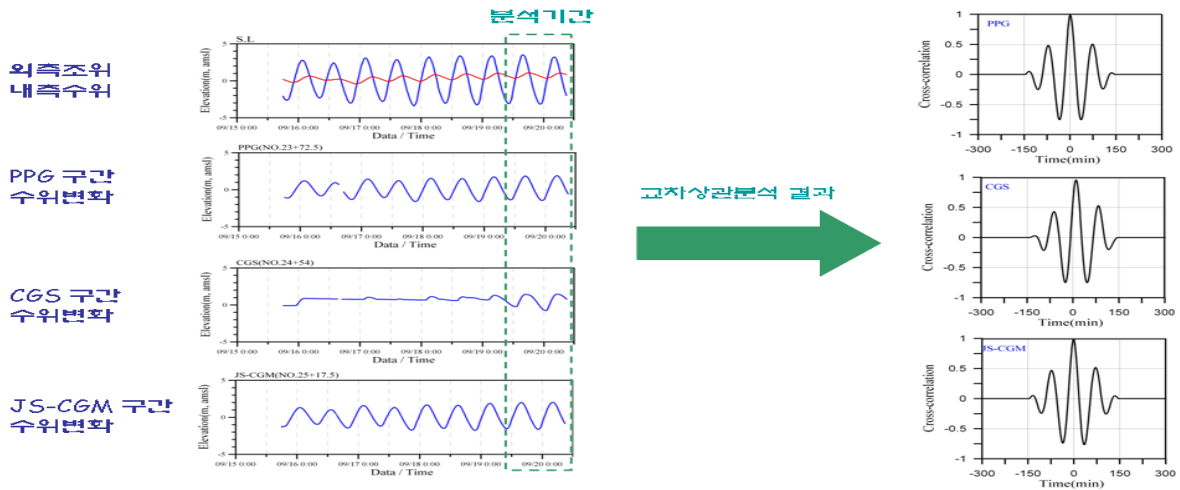


그림 4. 수위 모니터링 분석 결과

4.2.2 공내촬영(BIPS : Borehole Image Processing System, 시추공 영상촬영 시스템)

공내촬영은 시공전·후의 주입재가 지층의 공극에 얼마나 충전되었는지를 비교할 목적으로 수행하였다. 1차 촬영은 2009.9.3일 바닥보호공층을 중심으로, 2차 촬영은 2009.9.15일에 시공구간 전체를 대상으로 촬영하였다. 슬라임은 대체로 준설토층 굴착시 발생하였으며 공벽 내부의 붕괴가 주원인으로 확인되었다.

표 8. 공내촬영 분석결과

공 번	촬영구간(m)	중점구간(m)	시공상태
PPG 공법	2.0~20.25	15.0~20.25	- 상부 준설토보다 고결된 양상(15.25~15.57m) - 세편상의 주입재 흔적이 보임(14.50~15.25m) - 완전 고결된 주입재 양상이 일부 나타남(16.9m 부근) - 사석형태의 암편이 발달(17.00~20.25m)
CGS 공법	2.0~21.88	15.0~21.88	- 상부 준설토보다 고결된 양상(15.25~21.40m) - 회색계열의 세편상 주입재 보임(16.4~16.5m) - 주상도상에서 19.0m 부근부터 사석구간으로 나타나나 영상으로 구분 안됨
JS-CGM 공법	2.0~22.54	16.0~22.54	- 사석사이의 공간에 완전히 고결되지 못한 주입재의 흔적이 나타남(20.0~21.3m), 영상분석에서는 완전 고결되지 않은 부유상태로도 보임
분석결과	- 많은 구간에서 슬라임에 의해 영상분석이 불가능한 경우가 많음 - 모든공법 그라우팅 주입재 흔적이 보이는 구간과 보이지 않는 구간이 나타나지만, 영상분석만으로 주입재에 의한 충전여부를 판단하기는 무리가 있음 - 그라우팅 이후 현재의 바닥사석층 상태는 세 구간에서 유사		

### 4.2.3 현장 투수계수

시공 전에는 변수위투수시험법(tubecasing method), 시공 후는 변수위시험법 중 주수식으로 실시하였으며, 수위변화는 자동수위 측정기로 측정하였다.

- 투수계수(시험시공 전)  $k = \frac{\pi r}{5.5(T_2 - T_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$

- 투수계수(시험시공 후)  $k = \frac{(2.3)^2 r^2}{2L(T_2 - T_1)} \log\left(\frac{L}{r}\right) \log\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$

여기서,  $k$  = 투수계수(cm/sec),

$r$  = 공의반경(cm),

$L$  = 시추공의 길이(cm)

$H_1$  = 임의의 시간( $T_1$ )의 수위(cm),

$H_2$  = 임의의 시간( $T_2$ )의 수위(cm)

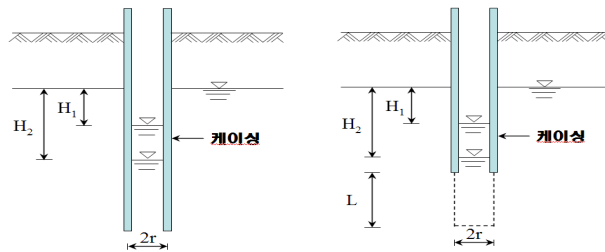


그림 5. 현장 투수계수 측정 모식도(시공 전·후)

측정결과치의 정확성을 높이기 위하여 3개지점을 측정하여 평균값을 계산한 결과 모든 공법에서 그라우팅 후 바닥보호공 사석층의 투수계수가 감소하였으며, 투수계수가 준설성토재의 투수계수값과 유사하게 나타났다.



표 9. 현장 투수계수 측정결과

공 법	사석층 투수계수(cm/sec)				
	시공 전	시공 후			
		지점 A	지점 B	지점 C	평균
PPG	$1.90 \times 10^{-2}$	$2.66 \times 10^{-4}$	$2.73 \times 10^{-4}$	$1.42 \times 10^{-4}$	$2.27 \times 10^{-4}$
CGS	$2.39 \times 10^{-2}$	$1.08 \times 10^{-4}$	$3.90 \times 10^{-4}$	$9.84 \times 10^{-5}$	$1.98 \times 10^{-4}$
JS-CGM	$1.58 \times 10^{-2}$	$3.36 \times 10^{-4}$	$1.21 \times 10^{-4}$	$1.35 \times 10^{-4}$	$1.97 \times 10^{-4}$




#### 4.2.4 코어채취

지반개량 효과를 육안으로 판별하기 위하여 공법별로 임의 지점 3개소를 선정하여 코어를 채취하였다. 채취한 코어에 페놀프탈레인 용액을 살포하면 그라우트재 투입구간은 적색으로 변색되어 육안관찰이 가능하다.

표 10. PPG공법 코어채취 결과




위 치	No.23+55.5		No.23+65		No.23+72.5	
	그라우팅	코 어	그라우팅	코 어	그라우팅	코 어
구 분						
준 설 토(m)	3.5	0.3	3.5	-	3.5	-
사 석 층(m)	4.6	4.1	4.7	2.8	3.8	3.3
시공 (재령)	'09.8.18	(18일)	'09.8.14	(19일)	'09.8.18	(17일)
코어 샘플						

표 11. CGS공법 코어채취 결과

위 치	No.24+37.5		No.24+40		No.24+54	
	그라우팅	코 어	그라우팅	코 어	그라우팅	코 어
구 분						
준 설 토(m)	3.5	3.0	3.5	4.0	3.5	3.0
사 석 층(m)	4.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.5 <sup>1)</sup>
시공 (재령)	'09.8.28	(7일)	'09.8.24	(9일)	'09.8.29	(7일)
코어 샘플						

※ <sup>1)</sup> 원지반 그라우팅 부위가 채취됨

표 12. JS-CGM공법 코어채취 결과

구 분	No.25+17.5		No.25+25		No.25+34	
	그라우팅	코어채취	그라우팅	코어채취	그라우팅	코어채취
준 설 토(m)	3.5	3.5	3.5	4.7 <sup>1)</sup>	3.5	3.5
사 석 층(m)	4.0	3.7	2.7	3.5	3.6	4.0 <sup>2)</sup>
시공 (재령)	'09.8.25	(10일)	'09.8.23	(10일)	'09.8.29	(13일)
코어 샘플						

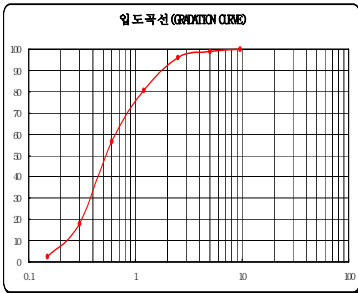
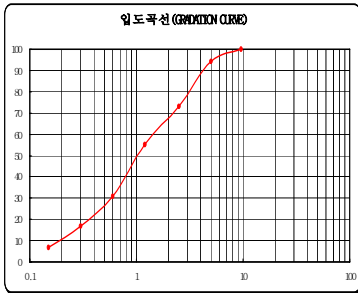
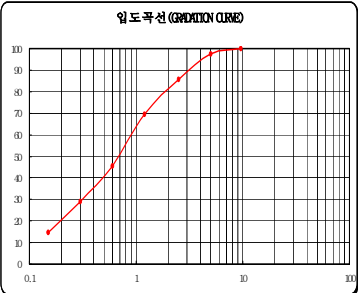
- ※ 1) 주입재 상승으로 인한 준설토 그라우팅 두께 증가
- 2) 원지반 그라우팅 부위가 채취됨

PPG 공법은 공압침투 주입방식 특성상 코어채취가 어려운 공법으로 준설토층에서는 코어채취가 불가하였고, 사석층에서 그라우팅 흔적이 나타났다. CGS 공법은 압밀주입방식으로 재령 7~9일에서 채취하였음에도 코어채취가 양호하며 그라우팅 주입 흔적이 잘 나타났고, JS-CGM 공법은 압밀주입방식으로 재령 10~13일에서 채취하였음에도 코어채취가 양호하며, 그라우팅 주입 흔적을 확인할 수 있었다.

#### 4.2.5 공시체 압축강도 및 재료 입도분포 측정

주입재의 강도특성을 알기 위해 KS F4009 규정에 따라 공시체를 제작하여 재령 28일에 압축강도시험을 실시하였으며, 또한 주입재료의 입도특성을 파악하기 위해 현장에서 시공되는 재료를 채취한 후 배합비로 혼합하여 체가름시험을 실시하였다. PPG 공법은 준설해사 대신 모래를 사용하였다.

표 13. 공법별 압축강도 및 입도분석 결과

구 분	PPG공법	CGS공법	JS-CGM공법
압축강도	10.7MPa	13.4MPa	31.6MPa
입도시험	 <p style="text-align: center;">모래</p>	 <p style="text-align: center;">석분+마사토(1:1)</p>	 <p style="text-align: center;">모래</p>

대체로 공시체 압축강도가 10MPa 이상으로 기준에 충족했으며, 입도분포는 3개 공법이 거의 동일한 입도분포를 나타내며 주입 재료로서도 입도가 양호한 것으로 확인되었다.

## 5. 결 론

2009년 6월부터 3개월간 현장에서 방조제 바닥보호공 차수를 위해 시험시공하여 적용된 그라우팅 공법들에 대하여 여러 가지 검증방법을 실시한 결과는 다음과 같다.

- 전반적으로 사석층 두께가 계획보다 0.5~1.0m 두껍게 나타나서 천공깊이 및 주입재 투입량이 증가 되었으며
- 적용 공법 모두 사석층의 투수계수는 시공전  $\alpha \times 10^{-2}$  cm/s에서 시공후  $\alpha \times 10^{-4}$  cm/s 으로 개선되었고
- 고결시간과 내구성 육안확인을 위한 코아채취 결과 그라우트 주입효과에 대한 확인이 가능했으나, 공내촬영 결과는 많은 구간에서 슬라임에 의한 영상판독 불가로 주입재에 의한 충전여부를 판단키는 어려웠다.
- 방조제는 조위의 반복적인 영향을 받는 구조물이므로 시험시공에 따른 그라우트재의 기능과 효율성을 지속적으로 관찰할 필요가 있고
- 시공내용을 보다 정확하고 안정적으로 검증할 수 있는 방법에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. 농림부, 농업기반공사(2002), 새만금사업총람( I ), 충문사, pp.59~60.
2. 농림부, 한국농촌공사(2006), 끝막이구간의 Filter 및 준설해사 단면축조 기법개발, 한국농촌공사
3. 농림수산부, 농어촌진흥공사(1990), 방조제단면의 해사축조공법 및 끝물막이공법 연구, 한국농어촌공사, pp.445~447.
4. 농림수산부, 농어촌진흥공사(1990), 새만금지구 방조제 단면 및 기초처리에 관한 설계검토, 농어촌진흥공사
5. 농림수산식품부. 한국농어촌공사(2009), 끝막이 후 방조제 침투변화가 제체의 안정성에 미치는 영향분석, 한국농어촌공사
6. 장병욱, 전우정, 성찬용, 고흥석, 김광우, 송창섭, 유찬, 임성훈 공저(2008), 최신 토목시공학, 구미서관, 서울, pp.656~664.
7. 한국농어촌공사(2008), 방조제 그라우팅 보강기술 개발, 한국농어촌공사
8. 한국농촌공사(2007), “새만금방조제 끝막이 종합보고서”, 한국농촌공사, pp.79~81.
9. Deere D.U.(1982), "Cement-Bentonite Grouting for Dams", ASCE Grouting in Geotechnical Engineering, pp.290~294.
10. Lakshmi N. Reddi(2003), *Seepage in Soils Principle and Applications*, John Wiley and Sons, New Jersey.
11. Terzaghi, K.(1943), *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, New York