

준설해사로 충전된 바닥보호공의 형상 및 침투유속평가

Seepage Velocity and Borehole Image of Bottom Protection Layer Filled with Dredged Sand in Sea Dyke

오영인¹⁾, Young In Oh, 강병윤²⁾, Byung-Yoon Kang, 김기년³⁾, Ki-Nyeon Kim, 조영권⁴⁾, Young-Gwon Cho

- 1) 한국농촌공사 농어촌연구원 농촌자연환경연구소 선임연구원, Senior Researcher, Research Group on Rural Natural Environment, Rural Research Institute, KRC
- 2) 한국농촌공사 농어촌연구원 생산자원연구소 선임연구원, Senior Researcher, Productive Resources Research Division, Rural Research Institute, KRC
- 3) 한국농촌공사 농어촌연구원 생산자원연구소 연구원, Research Fellow, Productive Resources Research Division, Rural Research Institute, KRC
- 4) 한국농촌공사 농어촌연구원 생산자원연구소 수석연구원, Research Fellow, Productive Resources Research Division, Rural Research Institute, KRC

SYNOPSIS : After the final closure of sea dyke, seepage behaviour of embankment is highly changed by variation of water head different between tide wave and controlled water level at fresh lake. Especially, the seepage behaviour of bottom protection layer of final closure section is more important factor for structural and functional stability of sea dyke, because of the bottom protection layer of final closure section is penetrated sea side to fresh lake. Even though bottom protection layer was filled with dredged fine sand, it has a high permeability. In this paper, mainly described about the seepage velocity and borehole image of bottom protection layer filled with dredged sand after final closure. Various in-situ tests such as BIPS (Borehole Image Processing System) and ABI (Acoustic Borehole Imager) survey, wave velocity measuring, and color tracer survey were conducted to evaluate the seepage behavior of bottom protection layer. Based on the in-situ tests, the bottom protection layer of final closure section was almost filled with dredged sand which is slightly coarse grain sand and there have sea water flow by water head different between tide wave and controlled water level at fresh lake. Also, comply with tracer survey results, the sea water flow path was not exist or generated in the bottom protection layer. However, because of this result not only short term survey but also just one test borehole survey results, additional long term and other borehole tests are needed.

Key words : Seepage velocity, Bottom protection, Sea dyke, BIPS, Televiewer

1. 서론

방조제는 해수침투를 일정정도 허용을 하며, 성토재료의 투수특성을 이용한 침투저감과 해수 및 내측 담수와의 밀도 차에 의하여 담수호화가 진행될 수 있도록 하는 구조물이다. 그러나 심해에 대규모 단면으로 축조된 방조제는 방조제 단면을 통한 해수침투가 발생되며 특히 끝막이 구간의 단면은 기초 바닥보호공의 두께가 두껍고 단면이 불균질하여 준설해사로 충전이 된다 하더라도 해수침투량이 과다할 수 있어 이에 대한 평가가 요구된다. 본 연구에서는 준설해사로 충전된 바닥보호공의 준설해사 충전 형상과 침투유속을 평가하기 위하여 방조제의 성토제체와 바닥보호공까지 시추 및 시험공을 유지하여 시추공영상촬영(BIPS), 초음파주사검층(Televiewer), 유향 유속계를 이용한 바닥보호공 내의 침투유속 조사를 실시하

삽입하여 시추공벽의 영상을 촬영, 분석하여 지하에 분포하는 다양한 지질구조에 대한 정보를 얻는 목적으로 사용된다.

표 1. 시추공 영상촬영 시스템 (OBI) 주요 제원

구성	장비명	주요제원	비고
Surface Unit	Geologger-3	Image Data ; RGB 3bit Data Storage ; MO(640MB), HDD(1.2GB) Internal Printer ; 122mm thermal type	Model 3970
Borehole Camera Porbe	OBI Probe	Camera ; Color CCD(768H×494V) H. Resolution ; 360, 720 pixels V. Resolution ; 0.5, 1.0, 2.0 mm Illumination ;LED array(white) Azimuth Mea. ; 3axis magnetic sensors & 3axis acc. sensors App. Hole Diameter ; ø66~180mm Max. Measurement Depth ; 200m Cable ; 4 conductor jacket cable Probe Dimension ; ø50×1100mm	Model 3584
Winch Unit	Power Winch	Cable length ; 200m Power ; 12V, 120W DC motor Controller ; Adjustable Speed Control, Current Monitor Max. Hoisting Speed ; 10m/min	Model 3895
Processing software	GMI*Imager 'OPTV' & 'Rockware'	Imaging of borehole wall 3D core imaging Semi-automatic feature picking Mean dip, Fracture/bedding orientation Aperture. zone axis π diagram & contour analysis, etc.	

2.2 시험공시추 및 공내촬영

본 연구에서는 바닥보호공의 준설해사 충전여부를 육안검토하기 위하여 공내 촬영을 실시하였으며, 공내촬영 방법은 시추공영상촬영(BIPS)과 초음파 주사검층(Televiewer)을 수행하였다. 공내촬영은 시험공 시추조사 후, 바닥보호공 내에 아크릴 관을 매설한 후, 공내촬영 장비를 이용하여 내부를 촬영하였다. 시험공 시추 및 공내촬영 장비는 다음 그림 3과 그림 4에 나타낸 바와 같다.



그림 3. 시험공시추 및 아크릴관 삽입



그림 4. 시험공 공내촬영장비

2.3 시추공 영상촬영 분석결과

본 현장조사는 시추공영상촬영(BIPS)을 수행함으로써 방조제 하부 바닥보호공(사석) 구간에 대하여 영상이미지를 분석하여, 사석과 사석주변부 모래의 충전여부 및 조수에 의한 모래의 유동을 파악하기 위한 목적이 있다. 탐사시점은 1차탐사: 11월 7일 17시, 2차탐사: 11월 8일 11시(1차와 2차탐사 시간차: 약 18시간)에 실시하였으며, 현황은 다음 표 2와 같다.

표 2. BIPS 탐사현황

시추공번	시추심도(m)	탐사심도(m)	분석심도(m)	비 고
T-4	21.5	2~20.95	18~20.95	

시추조사결과 사석구간에서 큰 사석들을 관통한 구간이 없어 BIPS 영상결과로도 암반구간이 나타나지 않고 대부분 모래구간만 파악된 것으로 추정된다. 또한, BIPS 영상 분석결과, 시추조사로 파악된 20.4m 하부의 바닥보호공(사석)은 파악되지 않고 조립질 해사만 파악되었다. 다음 표 3은 영상 분석결과로 세분한 지층분포(1차, 2차 탐사 동일)를 표로 나타낸 것이다. 또한, 그림 5는 영상분석결과를 그림으로 도시한 것이다.

표 3. 탐사결과 요약

지 층	구간심도(m)
세립질 해사	2~20.4
중조립질 해사	19.27~19.48, 19.53~19.8
조립질 해사	20.04~20.95

그림 5에서 보는 바와 같이 상부층은 대부분 BIPS 영상으로도 입자를 구분하기 어려울 정도의 세립질의 모래로 구성 되어있으나, 하부층은 입자를 구분할 수 있는 중조립이나 조립질의 모래로 구성되어 있을 알 수 있다. 또한, A1 지점과 A2 지점을 비교한 결과 약 18시간이 경과한 후에도 조립질 모래는 교란 없이 동일한 형태로 존재하는 것으로 보아 조수의 영향을 받지 않는 것으로 파악된다.

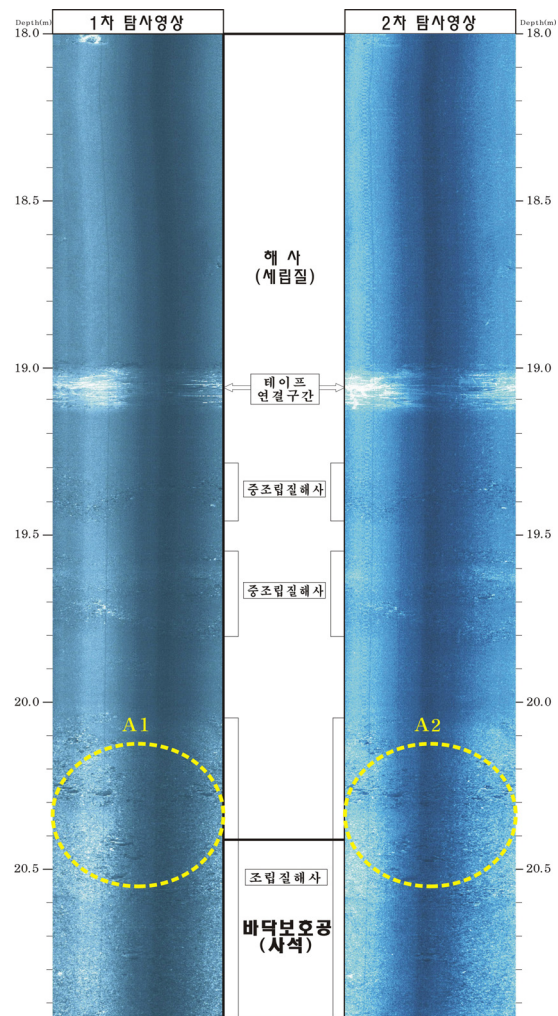


그림 5. 결과영상(BIPS)

3. 초음파 주사검층을 통한 공내촬영

3.1 장비제원 및 시험방법

ABI는 초음파 빔(beam)을 시추공 내벽에 주사하여 얻게 되는 반사파의 진폭 및 주기를 분석함으로써 불연속면의 크기, 방향 및 경사, 암질의 변화 및 암석의 역학 상태를 파악하기 위함이다. 본 연구에서는 앞서 수행한 BIPS를 이용한 공내촬영 결과와 비교분석을 위하여 초음파 주사검층을 통한 공내촬영을

실시하였다. 본 연구에 사용된 초음파 주사검층 장비는 그림 6에 나타낸 바와 같다. 초음파 주사검층을 위한 시험장비는 크게 시추공 내에 삽입하여 초음파주사 및 반사파를 수집하는 Probe(日本 OYO社)와 Probe, Winch 등을 제어하고 정확한 시추공 정보를 나타내기 위한 각종 기능을 수행하는 본체(Main Body)-(Geologer3 / 日本 OYO社)로 구성된다. 본체는 Probe로부터 Digital화 된 Data를 받아 LCD화면에 시추공 정보를 나타내며 Data는 실내분석 작업이 가능하도록 하드디스크 또는 외부저장장치에 저장하며, 검층시 출력이 가능하다. 그리고 마지막으로 Probe와 본체에 연결하여 검층 시 시추공 내에서 Probe를 상승·하강 시키며 sheave에 연결되어 심도측정이 가능한 Winch System (230m/영국 Robertson사)이 있다.

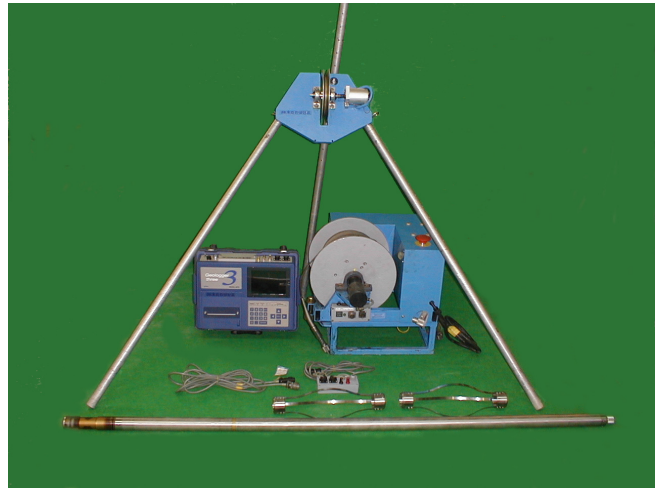


그림 6. 초음파 주사검층 장비

3.2 초음파 주사검층 분석결과

본 탐사는 초음파주사검층(Televiewer)을 수행함으로써 새만금방조제 하부 바닥보호공(사석) 구간에 대하여 초음파의 반사 진폭강도를 분석하여, 사석과 사석주변부 모래의 충전여부 및 조수에 의한 모래의 유동을 파악하기 위한 목적이 있다(시공내 해수의 혼탁도가 높아 BIPS 영상분석이 어려울 경우 대체 탐사). 시험시점은 1차탐사: 11월 7일 17시에 실시하였다. 원칙적으로 나공(openhole) 상태에서 탐사해야하나 현장여건상 아크릴관에서 탐사를 수행하였다. 탐사현황은 표 4에 나타낸 바와 같으며, 결과영상은 그림 7에 도시한 바와 같다.

표 4. 탐사현황

시추공번	시추심도 (m)	탐사심도 (m)	분석심도 (m)
T-4	21.5	13~20.95	18~20.95

그림 7에서 보는 바와 같이, BIPS 영상결과와 동일하게 암반구간은 나타나지 않고 대부분 모래구간만 파악된 것으로 추정된다. Televiewer 영상 분석결과 시추조사로 파악된 20.4m 하부의 바닥보호공(사석)은 파악되지 않고 조립질 해사만 파악(모래 입자들은 연노란색 나타남)되었으며, Televiewer 영상 분석결과로 세분한 지층은 거의 BIPS 결과와 동일하다. Televiewer 검층은 원래 나공(openhole) 상태에서 탐사를 수행해야하나 현장 여건상 아크릴관내에서 탐사를 수행하여 일부 구간에서는 아크릴의 영향을 다소 받은 것으로 판단된다. 시공내 해수의 혼탁도가 매우 높을 시 BIPS에서는 정확한 영상구분이 어려우나 Televiewer에서는 혼탁도와 무관하게 물의 매질만 있으면 초음파의 반사 진폭강도로 암반층, 토층, 공동 등 공내 매질의 특성을 정확히 구분할 수 있다.

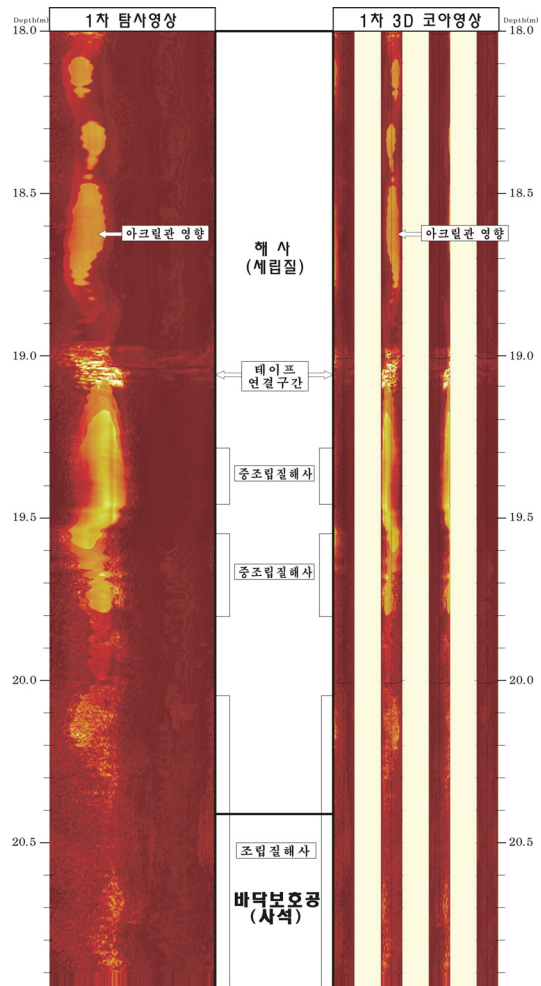


그림 7. 결과영상(초음파 주사검층)

3. 바닥보호공 내의 유속조사

3.1 장비제원 및 시험방법

바닥보호공 내 흐름여부를 파악하기 위하여 시추공 영상촬영을 실시한 시험공에 대하여 유속을 측정하였다. 유속측정 시 사용한 유속계의 제원은 일본 ALEC ELECTRONICS CO., LTD. 사가 개발한 제품으로 x, y 양방향의 속도성분이 측정되므로 유속의 크기는 물론 유향도 알 수 있다. 작동원리는 자기장내에서 도체가 움직일 경우 전류(Faradic Current)가 발생되며, 그 크기는 자기장의 세기와 도체의 속도에 비례한다는 Faraday의 전자기유도법칙을 이용한 것이다. 물은 도체여서 자기장 내를 지나갈 때 전류가 발생되고 그 크기는 유속에 비례한다. 그림 8에서 보는바와 같이 센서에는 자기장을 발생시키는 코일과 전류를 감지하는 4개의 전극이 있어 1, 3번은 X 방향 유속을, 2, 4번은 Y 방향 유속을 측정한다. 표 5는 유속계의 제원을 나타낸 것이며, 그림 9는 유속계의 외관을 나타내는 사진이다.

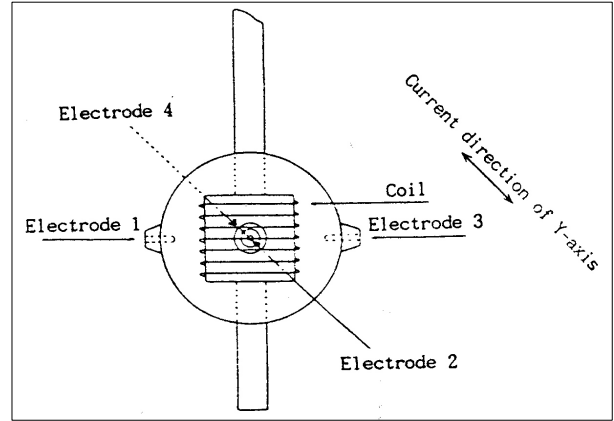


그림 8. 유속계의 센서 구조

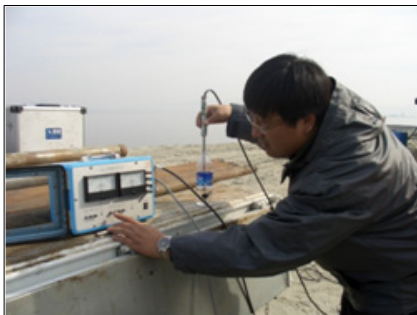
표 5. 유속계의 제원

구분	측정 방향	센서 모양	측정 깊이	측정범위 (cm/s)	측정간격 (sec)	정확도 (cm/s)
제원	X, Y	20mm, 봉형	30m (3kg/cm ²)	0~250	0.05, 1, 5	±0.5

바닥보호공 내의 유속조사는 시험공을 바닥보호공 내 2.0m지점까지 시추한 후, 유속계를 삽입하여 측정하였다. 유속측정 시간은 해측 조위 만조 전후 1시간 동안 측정하였으며, 유속계 검정 및 계측장면은 다음 그림 10에 도시한 바와 같다.



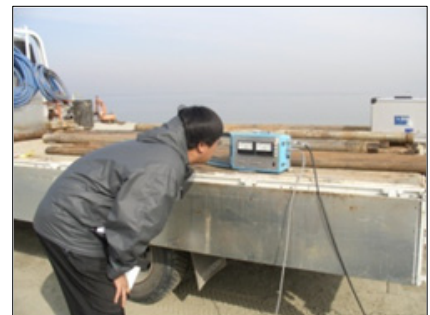
그림 9 유속계 센서 및 데이터로거



(a) 유속계 검정



(b) 유속계공내 삽입



(b) 유속측정

그림 10. 바닥보호공내 유속측정

그림 11은 시간 변화에 따른 유속측정 결과를 도시한 것으로, 와류구간의 평균유속은 약 0.08m/sec, 전체 층 바닥보호공 평균유속은 0.04m/sec로 나타났다. OO지구 방조제에서 발생된 최대 유속 0.067m/sec에 비하여 미소한 값이나, 바닥보호공 내에 조위변화에 따른 흐름이 발생하고 있는 것으로 판단된다.

4. 색소추적자 조사

본 현장조사에서는 그림 12와 같이 동일 단면의 시험공 2곳에 대하여 색소를 투입하고 호측에 투입한 색소 성분이 검출되는지를 실험하는 추적자법을 실시하였다. 그림 3-20은 수용성 형광색소를 바닥보호공 내에 주입하기 위하여 제작한 펌커와 색소추적자를 나타낸 것이며, 색소추적자 조사 과정은 그림 13에 도시한 바와 같다. 호측의 추적자 검출은 육안관찰과 잠수부를 동원하여 검사하였으나, 색소추적자 주입 후 7일 경과 후까지 호측에 검출이 발생되지 않았다. 색소추적자 조사는 심해 바닥보호공 내에서 이루어지므로 방사상의 평면상 이동과 일정 유속이 있는 유로가 형성되지 않는 이상 단기간 내에 추적자가 검출되지는 않는다. 향후 시추된 시험공에 대하여 추가적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.

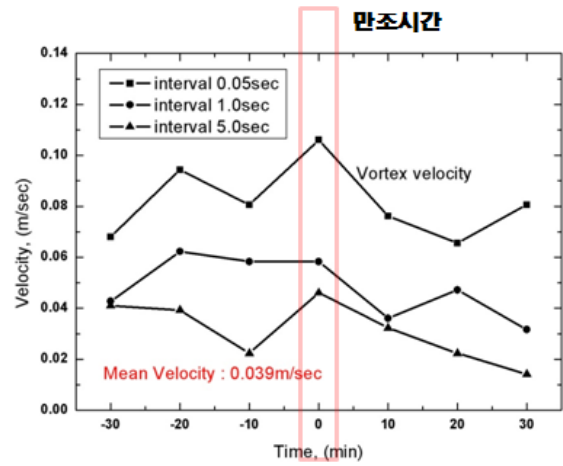


그림 11. 바닥보호공 내 유속측정

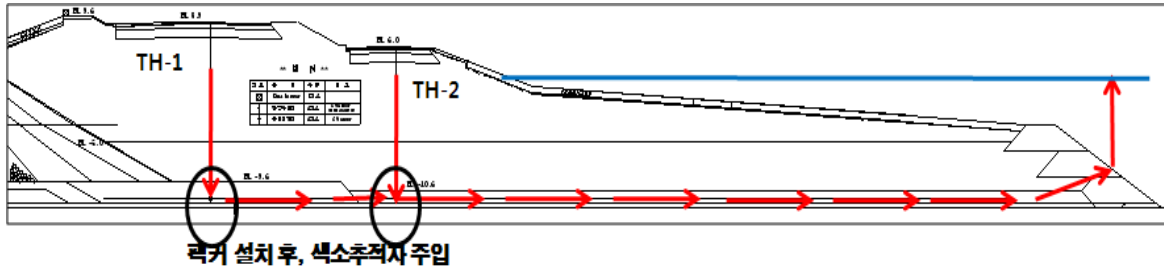


그림 12. 색소추적자 조사 개념도



(a) 시험공 1 색소추적자 주입



(b) 시험공 2 색소추적자 주입

그림 13. 색소추적자 조사 과정

5. 결론

본 연구에서는 준설해사로 충전된 바닥보호공의 준설해사 충전 형상과 침투유속을 평가하기 위하여 방조제의 성토제체와 바닥보호공까지 시추 및 시험공을 유지하여 시추공영상촬영, 초음파주사검층, 유향 유속계를 이용한 바닥보호공 내의 침투유속 조사를 실시하였다. 또한 바닥보호공을 통한 유로흐름이 발생하는 지 여부를 평가하기 위하여 색소추적자 조사를 수행하였다. 연구수행에 따른 총괄 결론은 다음과 같다.

1. 시추공영상촬영(BIPS)을 통한 방조제 하부 바닥보호공(사석) 구간에 대하여 영상이미지를 분석결과, 상부 준설매립층은 대부분 BIPS 영상으로도 입자를 구분하기 어려울 정도의 세립질의 모래로 구성 되어있었으며, 바닥보호공 내에는 입자를 구분할 수 있는 중조립이나 조립질의 모래로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 또한, 시간경과(약 18시간)후에도 조립질 모래는 교란 없이 동일한 형태로 존재하는 것으로 보아 조수의 영향을 크게 받지 않는 것으로 판단된다.
2. 초음파주사검층(Televiewer)을 통한, 바닥보호공(사석) 초음파의 반사 진폭강도를 분석 결과, BIPS 영상결과와 유사하게 사석관통구간은 나타나지 않고 대부분 모래구간으로 조사되었다. Televiewer 영상 분석결과 시추조사로 파악된 20.4m 하부의 바닥보호공 주변은 조립질 해사로 충전되어 있는 것으로 도출되었다.
3. 유향 유속계를 이용한 바닥보호공 내의 유속조사 결과, 와류구간의 평균유속은 약 0.08m/sec, 전체 총 바닥보호공 평균유속은 0.04m/sec로 나타났다. 00지구 방조제에서 발생된 최대 유속 0.067m/sec에 비하여 미소한 값이나, 바닥보호공 내에 조위변화에 따른 흐름이 발생하고 있는 것으로 판단된다.
4. 방조제 끝막이 구간 단면의 시험공 2곳에 대한 색소추적자 조사 결과, 호측의 추적자 확인 조사를 육안관찰과 잠수부를 동원하여 검사하였으나, 색소추적자 주입 후 7일 경과 후까지 호측에 검출이 발생되지 않았다.
5. 방조제 끝막이 구간에 대한 현장조사는 시추공 영상촬영 및 초음파 주사검층을 통한 영상촬영, 바닥보호공 내 유속조사, 색소 추적자 조사를 복합적으로 수행하였다. 총괄 현장조사 결과, 방조제 끝막이 개방구간 1의 바닥보호공은 준설해사로 충전이 이루어진 상태로 판단되나, 상시 조위변화에 따른 유속이 발생되고 있어, 투수성이 상대적으로 큰 조립질 모래로 구성되어 있다. 또한 바닥보호공의 투수성은 준설해사에 비하여 큰 투수성을 가지고 있으나, 색소추적자 검출이 발생되지 않은 것을 볼 때, 직접적인 유로형태의 침투가 발생되고 있는지는 않은 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 농업기반공사(2002), 방조제 해측사면 성토재료 거동분석에 관한 연구, 연구보고서
2. 농업기반공사(2003), 방조제 계측관리 및 해측사면 거동분석, 연구보고서
3. 오영인, 유전용, 김현태(2007), 방조제 최종 끝막이에 따른 제체 침투거동, 한국지반공학회 2007년 춘계학술 발표회 논문집, pp. 1035~1042
4. 오영인(2005), 계속되는 새만금 방조제 끝막이(준설성토 끝막이 1년), 한국지반공학회 학회지, Vol. 23, No. 5. pp. 52 ~ 58
5. 이행우, 장병욱, 송창섭, 오영인(2005), 바닥사석층의 규모가 제체 침투피해에 미치는 영향에 대한 모의분석, 한국지반환경공학회 2005년도 학술발표회 논문집, pp. 313~320
6. 한국농촌공사 000사업단 (2005), 000 방조제 끝막이 종합계획서,
7. 한국농촌공사(2006), 끝막이 구간의 필터 및 준설해사 단면축조기법 개발, 연구보고서
8. 농지개발연구소(2000), 000 방조제 끝막이 공정검토 및 축조재료 유실방지 공법연구, 연구보고서
9. Bhart, S. and R.S. Varshney, 1995, *Engineering for Embankment Dams*, Balkema pp. 88-121