계측관리를 통한 방조제 바닥보호공의 침투거동분석
Analysis of Seepage Behavior of Bottom Protection Layer by Filed Monitoring

강병윤[1], Byung-Yoon Kang, 오영인[2], Young In Oh, 김기년[3], Ki-Nyeon Kim, 김현태[4], Hyun-Tae Kim

[1] 한국농촌공사 농어촌연구원 생산자원연구소 선임연구원, Senior Researcher, Productive Resources Research Division, Rural Research Institute, KRC

[2] 한국농촌공사 농어촌연구원 농촌자연환경연구소 선임연구원, Senior Researcher, Research Group on Rural Natural Environment, 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 : In this research, mainly research about the structural and functional stability of sea dyke with variation of seepage condition after final closure. The piezometric head (water head in embankment) monitoring system was installed at two representative final closure section. The dredged fine sand filling condition was evaluated by in-situ test results. Also, the numerical analysis was performed to determine the permeability of bottom protection layer filled with dredged fine sand by monitoring results. According to numerical back analysis results, the coefficient of permeability of bottom protection section of is 7.6×10^{-6}m/sec. These results are noted that the bottom protection layer of sea dyke was strong and intensively filled with dredged sand. Also, based on the seepage analysis, the seepage flux of this sea dyke was calculated about 2.42m^3/day/m which is 29% decreased value compare with adjacent sea dyke.

Key words : Field monitoring, Pore pressure, Seepage analysis, Bottom protection, Sea dyke

1. 서론

일반적으로 심해 방조제는 바다를 막아 일차적으로 바다와 육지를 분리하며, 성토재료의 투수특성으로 해수 침투를 저감함으로써 내측에 농촌용수 확보를 위한 담수호를 축조할 수 있도록 한다. 본 연구대상 방조제를 제외한 대부분의 방조제는 양질의 성토재료(화강풍화토)로 축조하여, 침투특성이 양호하고, 침식에 대한 저항성이 우수하다. 따라서, 끝막이 이후 방조제를 통한 해수 침투가 방조제의 안정성에 영향을 미치거나, 해수 침투량이 담수호화에 큰 영향을 미치지 않았다. 반면 본 연구대상 방조제의 경우, 방조제의 성토재료가 산토에 비하여 투수성이 크고 침식에 약한 준설해사이며, 특히 끝막이구간의 바닥보호공이 해측과 내측으로 연결되어 있어 침투량에 대한 충분한 검토가 요구된다. 연구대상 방조제는 2.7km 개방구간에 대한 최종 사석 끝막이 공사를 완료하고 후속공정인 준설성토를 통하여 성토 끝막이 공정까지 성공적으로 수행하였다. 따라서 방조제를 통한 직접적인 해수차단이 이루어졌으며, 현재 준설성토를 통한 방조제 단면축조가 이루어지고 있다. 또한, 직접적인 해수차단과 함께 해측과 내측의 수위차에 의한 방조제 침투현상이 진행되고 있다. 따라서 완공 전까지의 시공과정 및 완공후의 방조제

거동파악을 위한 계측관리가 요구된다. 본 연구의 총괄 목적은 연구대상 방조제의 끝막이 구간 및 전 구간에 걸친 해수침투가 방조제의 장기적인 안정성 및 담수호화에 미치는 영향에 대하여 연구한다. 세부내용은 크게 현장조사 및 분석연구, 방조제 침투특성 분석연구, 방조제의 안정성 평가, 담수호화 영향분석, 침투저감대책 연구로 구분되며 본 논문에서는 상기 총괄 연구의 일환으로 진행 중인 방조제 계측관리 및 시스템화, 이를 바탕으로 한 방조제 바닥보호공의 침투특성연구부분을 중점적으로 기술한다.

2. 계측관리 시스템

2.1 계측항목 및 단면설정

일반적으로 방조제 또는 제당의 계측항목은 제체의 형상 및 성토규모 혹은 지반조건에 따라서 달라지기 때문에 구체적인 계측결과의 활용목적, 평가방법을 명확하게 수립한 후 필요한 계측항목을 선정하여야 한다. 본 연구의 대상 방조제 끝막이 구간은 바닥보호공, 1차 사석단면, 필터단면(쇄석필터, 튜브형 매트리스) 및 준설성토 제체로 구성되어 있으며, 대상구간의 거동을 파악하기 위하여 방조제 성토층 및 바닥보호공 내의 간극수압변화량 측정한다. 계측관리를 위한 단면은 각 개방구간별 대표단면을 선정하였으며, 대표단면 선정은 끝막이 공정에 따른 지층구성 및 계측관리연구와의 연계성을 고려하였다. 그림 1은 방조제 침투특성분석을 위한 간극수압계 설치위치를 나타낸 것이며 그림 2는 설치과정을 도시한 것이다.

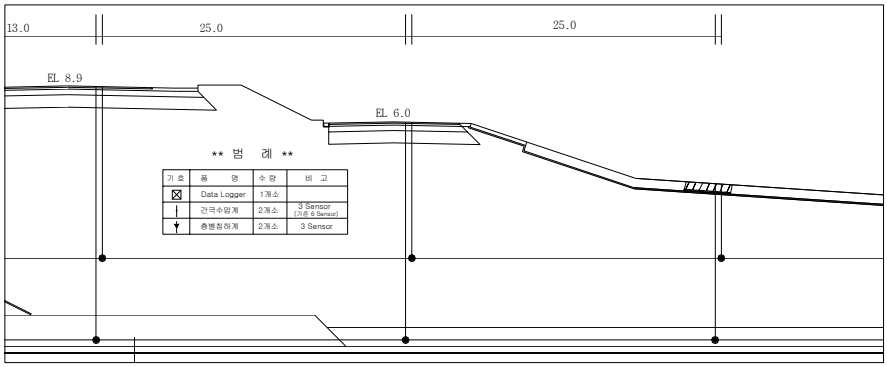

그림 1. 방조제 간극수압계설치위치

그림 2. 계측기 설치 순서(간극수압계)

2.2 모니터링 시스템

자동화 모니터링 시스템의 장점은 해상도의 증가로 측정치의 감도와 정밀도가 증가하고, 측정과 데이터 해석에 소요되는 인력과 경비가 감소하며, 연속적인 자동 작동에 의해 보다 많은 측정횟수가 가능하고, 원거리인 경우나 접근 불가능한 위치에서도 데이터의 수집이 가능하다. 또한 통신장치를 활용하여 즉각적인 데이터 전송이 가능하고, 급속한 변동과 파동, 진동 등이 있어도 측정이 가능하며, 데이터 저장형태가 컴퓨터 해석과 출력에 적합하여 전산 재활용이 용이하다. 당 현장에 도입된 자동화 모니터링 구성품은 크게 센서류, 데이터로거, 원격통신장치로 구성되어 있다.

본 현장에 도입된 계측관리 프로그램의 주요 기능은 설치된 기기로부터 데이터가 데이터 로거나 기타 측정 장치 및 데이터 시트 등으로 자동 또는 수동으로 수집되면 이를 정리하고 분석하는 작업이 수행된다. 이때 수집된 데이터를 필요한 공학적 의미를 갖도록 변환 처리하는 과정이 수행된다. 또한 변위(경사계, 변위계), 간극수압, 침하, 하중, 변형율 등의 측정된 데이터를 자동으로 수집하여 데이터베이스에 저장하였다. 계측기기는 제작회사마다 특성이 있어 변환 형태 등이 다양하지만, 본 프로그램은 모든 형태의 기기에 대해 적용이 가능할 뿐 아니라 계측치 분석결과의 도시방법도 다양한 항목으로 구현 할 수 있다. 현장에서는 크게 현장 계측 프로그램, 원격 계측 프로그램, 데이터베이스 프로그램, 사용자 프로그램 등의 개발 응용 프로그램과 Windows 2003, MSSQL와 같은 기반 운영체제 등을 도입하였다. 본 연구대상 방조제 계측 현장에서 계측된 모든 데이터는 CDMA모뎀 통신을 통하여 계측프로그램(ELSYS)에 수집된다. 이 때 설정된 칼리브레이션 식에 의하여 계측된 기본 데이터를 각 센서에 맞는 측정값으로 변환 시켜주며, 측정시각·로우데이터·변환된 센서 값·온도 값 등을 DB에 저장 시킨다. DB에 저장된 계측값은 ITServer에 의해 이에 맞는 분석 및 설정을 통하여 웹서버 및 Flash UT를 통하여 사용자에게 분석된 계측 데이터를 전달한다. 계측 데이터 프로그램인 ELSYS에서 수집된 모든 계측 데이터는 ITServer로 전달되며, ITServer는 이 데이터를 토대로 하여 계측데이터 분석 및 저장, 그 외 설정을 담당한다. 이렇게 분석 저장된 데이터는 웹서버를 이용한 웹서비스 및 Flash UI를 통하여 일반 사용자에게 배포된다. ITClient(계측데이터 수집 장치)는 ITServer에 의해 분석·저장된 데이터를 바탕으로 Flash UI 화면으로 확인할 수 있다. 그림 3과 같이 ITClient는 사용자용 프로그램으로 사용자가 보기 편리하게 제작되어 있으며, 현장 설치 평면도의에 센서 위치 표시 및 현재 측정값을 보여주는 방식으로 되어있어 현재 센서의 상태를 한눈에 확인할 수 있다. 이외에 경고이력 열람 및 그래프 보기 및 출력, 보고서 형식의 출력 등을 지원하고 있다.

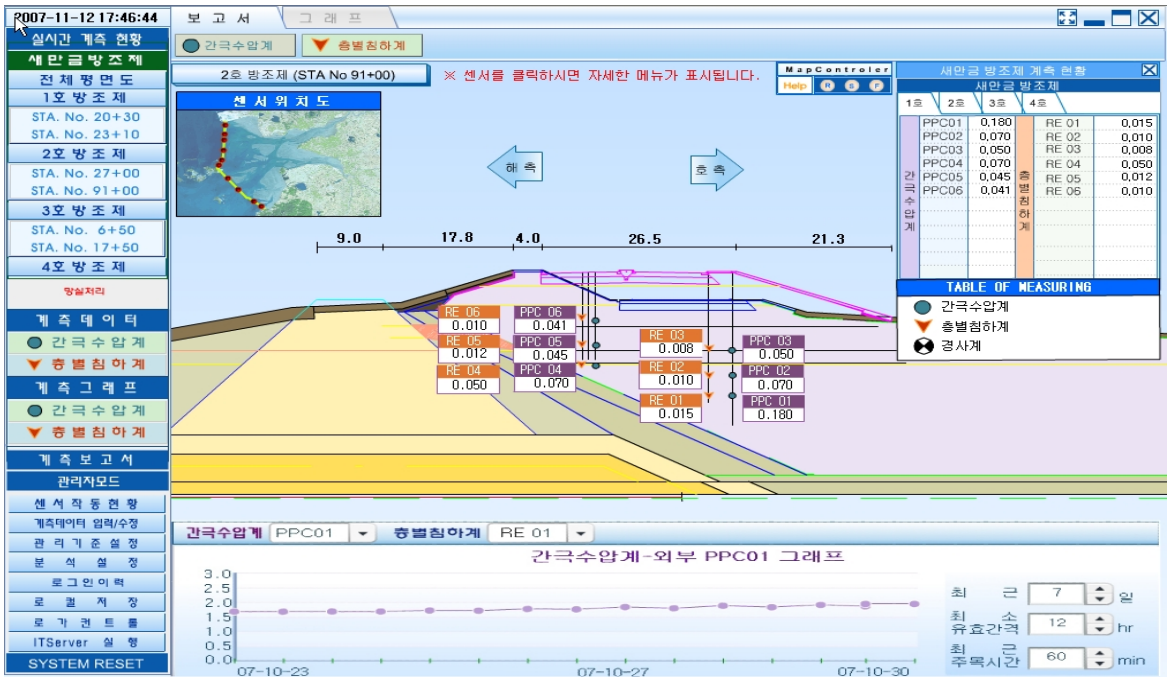

그림 3. 계측데이터 표출 화면

3. 방조제 끝막이구간 계측자료 분석

3.1 계측개요 및 간극수압측정결과

방조제의 최종끝막이 이후 끝막이 단면의 침투변화 분석을 위한 종합 계측관리 계획은 상기 장에서 약술한 바와 같으며 총괄 계측시스템의 구축 시점이 현장의 준설과정 및 단면축조공정과 관련하여 상당기간 지연이 불가피하여 본 연구에서는 연구의 효율적 수행과 계측자료수집을 통한 끝막이구간의 침투특성을 우선적으로 분석하기 위하여 다음 그림 1에 나타낸 지점에 대하여 시험공을 시추하여 1차 분석자료를 수집하였다. 일정 유격거리(25.0m)를 두고 바닥보호공 내에 천공 및 간극수압계를 매설하여 해·내측 수위변호에 따른 바닥보고공 내 간극수압을 측정하였다. 바닥보호공내 간극수압 변화 수집은 계측기 설치 후, 총 24시간동안의 수위변화를 계측하였다. 계측방법은 자동화 계측시점 이전으로 24시간 매뉴얼 방식에 의하여 데이터를 수집하였으며, 해측조위는 바닥보호공 내 설치된 간극수압계와 동일한 계측기를 해측에 설치하여 동시에 자료를 수집하였다. 수집된 각 위치별 계측자료를 바탕으로 1차 정성적인 침투특성을 분석하며, 각 위치의 침투로 인한 수위차 변화를 분석하여 바닥보호공의 침투특성을 평가한다.

그림 4는 바닥보호공의 침투특성 분석을 위하여 1차 분석을 실시한 PPT 1과 PPT 2 지점의 계측결과와 해측조위를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 해측 바닥보호공내 간극수압계(PPT 1)은 해측 조위변화에 대하여 직접적인 영향을 받으로 거의 유사한 거동을 보이고 있다. 또한 호측 바닥보호공(PPT 2)는 조위변화에 따라 일정정도의 수위차가 발생되는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 바닥보호공내에 준설해사 일정정도 충진이 되어있기 때문인 것으로 판단된다. 또한 그림 5는 조위변화에 따른 해측 바닥보호공(PPT 1)과 호측바닥보호공(PPT 2)의 수위차 변화를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 해측 바닥보호공과 호측 바닥보호공의 수위차가 조위변화에 따라 거의 일정한 주기와 진폭으로 발생되고 있으며. 수위차는 간조시 최대 약 1.4m까지 발생하였다. 본 계측단면과 유사한 인접구간 방조제 바닥보호공 내 수위차는 최종 끝막이 이후 최대 0.53m까지 감소되었으나, 본 연구대상 방조제 구간은 현재 준설해사 일정정도 충진이 잘 이루어져 계측 공간 수위차가 크게 발생되고 있는 것으로 사료된다.

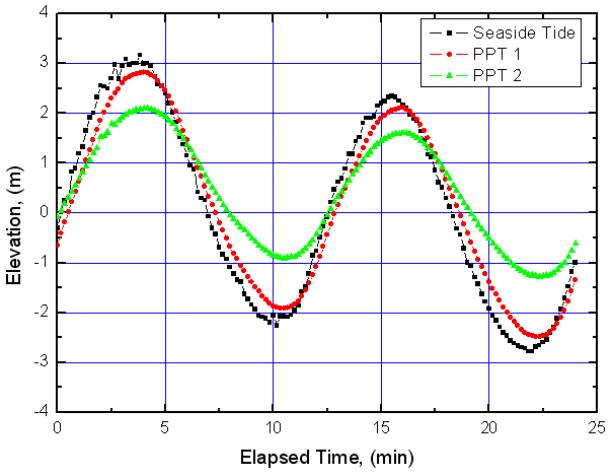

그림 4. 분석지점에 대한 계측결과

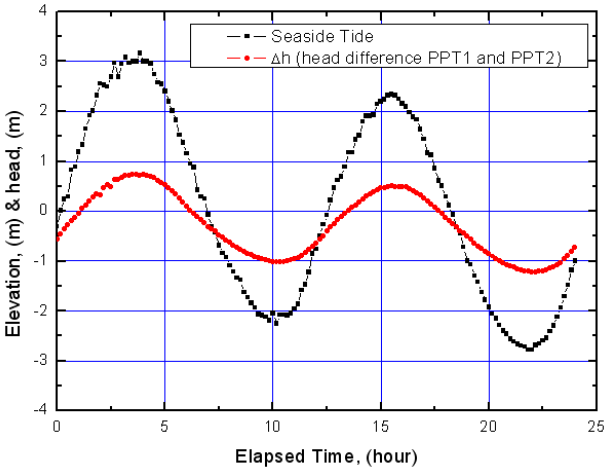

그림 5. 분석지점에 대한 수위차분석결과

3.2 바닥보호공 투수계수 역해석

계측결과를 바탕으로 한 바닥보호공(준설해사 충진)의 투수계수 역해석 방법은 일차적으로 조위변동에 따른 각 계측지점의 수두손실을 정수(constant)로 설정하고, 투수특성 및 경계조건 변수변화를 통한 시행착오법 적용하였다. 본 연구의 투수계수 역해석에 적용한 해석 변수는 바닥보호공의 투수계수, 시공시 발생 가능한 지형변화를 두었으며, 역해석 모델링 단면은 그림 6에 나타낸 바와 같다.

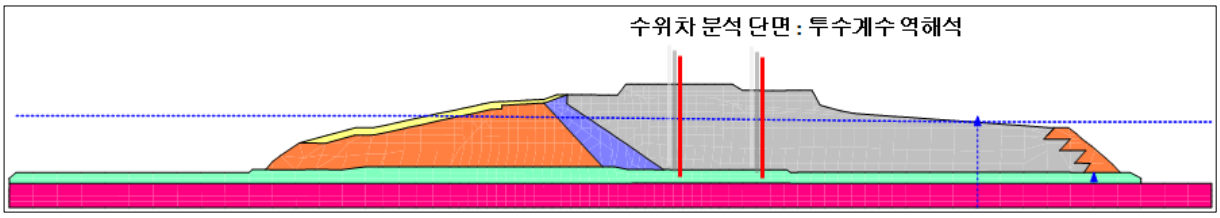

그림 6. 역해석 단면(방조제 끝막이 구간)

그림 7은 바닥보호공 투수계수 변동에 따른 해석결과를 나타낸 것으로, 바닥보호공 및 근고공의 투수계수변화를 1~100배 차이까지 해석한 결과이다. 그림에서 보는바와 같이, 투수계수의 변화와 관계없이 실측계측 수두차와 큰 차이를 보이고는 것으로 나타났다. 따라서, 설계단면상에 균질하게 바닥보호공이 시공 및 충진되었을 조건에서는 실계측된 수두손실을 역해석하기 불가능하며, 불가피하게 시공단면에 대한 수정이 요구된다. 시공단면의 수정은 해상공사(끝막이 공정, 필터공, 준설성토공 등)에 따른 시공시 발생 가능한 단면을 설정하여 해석단면을 수정하였다. 또한, 해측 바닥보호공 및 1차사석단면 하부의 바닥보호공의 투수계수를 1차 사석단면의 투수계수와 동일하게 적용하여 해석에 적용하였다. 그림 8은 시공시 단면변화를 고려한 수정해석단면을 도시한 것이다. 시공 시 발생 가능한 단면에 대한 해석결과는 그림 9와 표 1에 나타낸 바와 같다. 해석결과에서 보는바와 같이, 1차 사석단면 및 근고공의 투수계수 1.0×10^{-3}m/sec, 바닥보호공의 투수계수를 7.6×10^{-6}m/sec일 때 실측된 손실수두와 거의 근접한 해석결과를 얻을 수 있었다.

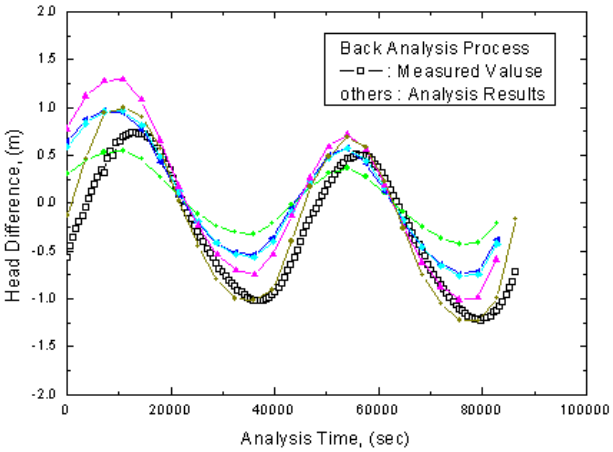

그림 7. 투수계수 변화에 따른 수두차 해석결과

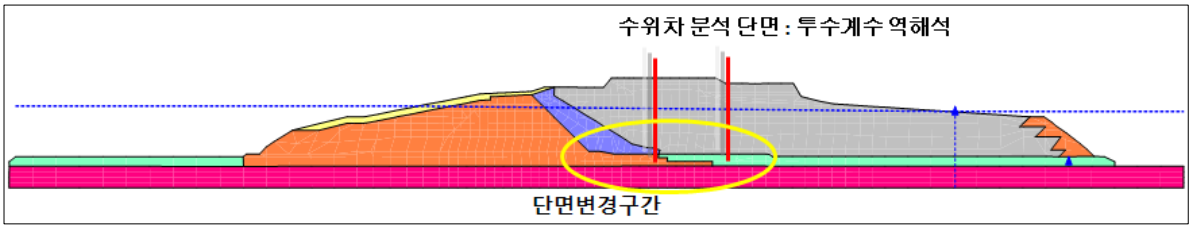

그림 8. 수정 해석단면

표 1. 수정 해석단면의 입력값

토층	인접방조제 적용값(m/sec)	연구대상 방조제 적용값(m/sec)
준설성토	1.0×10^{-6}	Fixed
쇄석필터	2.1×10^{-5}	Fixed
1차 사석단면	5.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}
바닥보호공	5.0×10^{-5}	7.6×10^{-6}
기초지반	1.5×10^{-8}	Fixed
피폭석	1.0×10^{-3}	Fixed

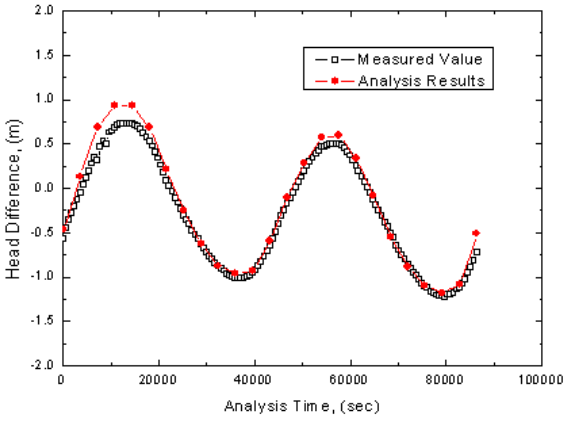

그림 9. 수정 단면에 대한 해석결과

3.3 바닥보호공의 침투특성 분석

현실적으로 복합재료로 축조되는 특히, 본 연구대상 방조제의 사석단면 및 바닥보호공과 같이, 규격석 및 대석으로 1차 축조된 후, 준설매립을 통하여 사석재료의 공극이 작은 입자로 채워지는 복합재료의 경우, 정량적으로 정확한 투수특성을 평가하는 것은 기술적 어려움과 공학적 판단이 상당히 요구되는 과정이다. 또한, 공학적 판단에 복합적으로 작용하는 과정은 방조제의 불확실한 축조형상을 들 수 있다. 바닥보호공의 축조 및 준설충진은 심해저에서 이루어지는 공정이며, 현장여건에 따라 불가피하게 단면이 변경되어진다. 앞서 바닥보호공의 투수계수 역해석 과정에서 보는 바와 같이, 시공과정을 고려한 단면형상을 고려하지 않을 경우, 현장상태의 투수특성을 예측하는 것이 불가능함을 의미한다.

본 연구에서는 시험공 시추 및 계측관리을 통하여 도출된 바닥보호공의 1차 수위변화자료와 역해석을 통한 투수계수를 분석하였으며, 인접방조제 바닥보호공의 투수계수와 비교분석하였다. 표 2는 본 연구대상 및 인접 방조제 사석재료 및 바닥보호공의 투수계수 분석결과를 비교하여 나타낸 것이다. 인접 방조제의 끝막이 전 단계의 투수계수는 방조제의 내외 수위차의 변화가 크기 않으며, 인접 방조제 끝막이 및 준설성토가 진행된 상황에서 공사 중단에 따른 장기간 해수유통에 노출되어 사석재료 및 바닥보호공 내에 준설해사가 일정정도 충전된 상태에서의 투수계수로 판단된다. 반면, 끝막이 이후의 바닥보호공 투수계수는 연구대상 방조제의 최종 끝막이가 완료됨에 따라, 안정된 상태를 유지하던 방조제 내에 급격하게 수위변화가 발생되고 내측 호수의 수위변화에 따라 방조제 내에 투수특성이 변화한 결과로 판단된다. 최종 끝막이 이후, 인접 방조제 끝막이 구간에 대한 단기계측결과(약 6개월간 수위차 변화 계측), 바닥보호공 내 수위차가 감소하여, 내외 수위차에 따른 입자재배열 및 투수특성 변화가 안정화 단계에 접어든 것으로 도출되었다.

최종 끝막이 이후, 준설성토가 순차적으로 이루어진 연구대상 방조제 끝막이 구간 Gap 1의 투수계수는 사석재료 및 근고공의 경우, 1.0×10^{-3}m/sec, 바닥보호공의 경우, 7.6×10^{-6}m/sec로 역해석 되었다. 사석재료 및 근고공의 투수성은 인접 방조제 끝막이 구간에 비하여 증가하였으며, 반면 바닥보호공의 투수계수는 인접 방조제 끝막이 전의 투수계수보다 1.3배 작으며, 끝막이 후 투수계수보다 약 90배가 작게 평가되었다. 이러한 결과는 다양한 요인이 복합적으로 작용한 결과로 판단되며, 영향요인을 정리하면 다음과 같다. ① 축조재료특성 : 균질한 규격석 및 대석에 의한 난적 축조, ② 재료의 투수성이 우수하고, ③ 바닥보호공 내 흐름이 발생하는(수위차 존재) 조건에서 준설성토, ④ 시공단면변화 : 1차사석단면을 통한 침투유속으로 필터단면이 확대되었을 것으로 유추된다. 총괄적으로 재료적 특성변화로 인하여 사석재료 및 근고공의 투수성은 증가하였으며, 바닥보호공은 준설성토과정에서 4호 방조제보다 밀실하게 충전이 이루어진 결과로 판단된다.

표 2. 방조제 사석재료 및 바닥보호공 투수계수

분석시점	인접 방조제 재료별 투수계수(m/sec)		대상 방조제 재료별 투수계수(m/sec)	
	사석재료 및 근고공	바닥보호공	사석재료 및 근고공	바닥보호공
끝막이 전 (2006년 4월)	5.0×10^{-4}	1.0×10^{-5}	-	-
끝막이 후 (2006년 11월)	5.0×10^{-4}	7.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}	7.6×10^{-6}

3.4 바닥보호공 침투수량 분석

상기의 결과에 따르면 연구대상 방조제 끝막이 구간은 내외 수위차에 의하여 일정 유속이 존재하는 조건에서 준설성토가 순차적으로 이루어 졌으며, 성토재료가 균질하고 난적으로 성층되어 있어 상대적으로 인접 방조제에 비하여 준설해사 충전이 밀실하게 발생된 것으로 판단된다. 반면, 본 연구대상 방조제 끝막이 구간의 준설성토는 끝막이가 완료된 이후에 진행되어 내외수위차가 크게 발생한 이력을 가지고 있지 못하다. 다시 말하면, 향후 내측수위가 급격히 변화하거나 관리수위가 저하할 경우, 방조제 성

토재료 및 바닥보호공의 투수성에 변화가 발생될 것으로 사료된다.

표 3과 그림 10은 연구자료 분석, 인접 방조제 끝막이 구간 계측결과 분석 및 연구대상 방조제 끝막이 구간의 계측결과를 바탕으로 한 방조제 끝막이 구간의 침투수량 산정결과를 나타낸 것이다. 표 3에서 보는 바와 같이, 현재 연구대상 방조제 계측결과에 따른 Gap 1 No. 00단면의 침투수량은 일일 약 2.42m^3/day/m로 기존 연구결과 및 인접 방조제 계측에 따른 투수계수 적용시 보다 약 29%감소하는 것을 도출되었다 이는 바닥보호공의 투수성이 상당부분 감소한데 기인하며, 총 침투량 중 바닥보호공을 통한 침투량도 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 본 침투수량 산정결과는 시험공에 대한 계측결과와 단기간의 계측자료를 통한 분석으로 향후 지속적이고 장기적인 침투수량 평가가 요구된다.

표 3. 방조제 끝막이 구간 침투수량 분석결과

조건		바닥보호공 투수계수 (m/sec)	준설해사 투수계수 (m/sec)	침투수량 검토단면	평균침투수량 (m^3/sec/m)	일일 침투수량 (m^3/day/m)
바닥보호공 부분 충진조건	인접방조제 끝막이 전 투수계수 적용	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-6}	EL -1.5 직하단면	$5.69e^{-5}$	4.91
				EL -1.5m이하 사면	$3.37e^{-5}$	2.91
	인접방조제 끝막이 후 투수계수 적용	5.0×10^{-4}	1.0×10^{-6}	EL -1.5m 직하단면	$9.88e^{-5}$	8.54
				바닥보호공	$3.615e^{-5}$	3.12((36.5%)
	연구대상방조제 끝막이구간 투수계수 적용	7.6×10^{-6}	1.0×10^{-6}	EL -1.5m 직하단면	$2.81e^{-5}$	2.42
				바닥보호공	$4.40e^{-6}$	0.38((17.7%)

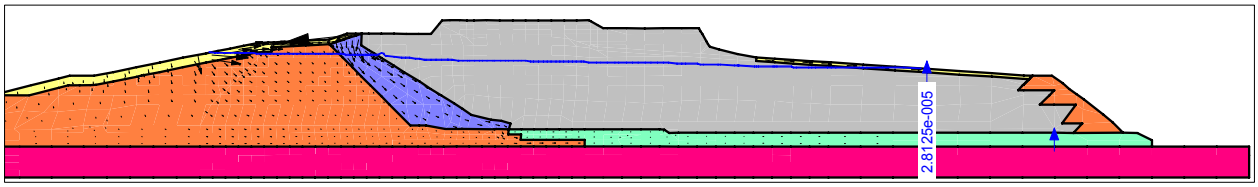

그림 10. 끝막이 구간 침투수량 분석(EL -1.5m 직하단면)

4. 결론

본 연구의 총괄 목적은 연구대상 방조제의 끝막이 구간 및 전 구간에 걸친 해수침투가 방조제의 장기적인 안정성 및 담수호화에 미치는 영향에 대하여 연구한다. 세부내용은 크게 현장조사 및 분석연구, 방조제 침투특성 분석연구, 방조제의 안정성 평가, 담수호화 영향분석, 침투저감대책 연구로 구분되며 본 논문에서는 상기 총괄 연구의 일환으로 진행 중인 방조제 계측관리 및 시스템화, 이를 바탕으로 한 방조제 바닥보호공의 침투특성을 분석하였으며, 연구결과에 따른 총괄 결론은 다음과 같다.

1. 시험공 수위관측을 통한 투수계수 분석 결과, 사석재료 및 근고공의 경우, 1.0×10^{-3}m/sec, 바닥보호공의 경우, 7.6×10^{-6}m/sec로 역해석 되었다. 사석재료 및 근고공의 투수성은 인접 방조제 끝막이 구간에 비하여 증가하였으며, 반면 바닥보호공의 투수계수는 인접 방조제 끝막이 전의 투수계수보다 1.3배 작으며, 끝막이 후 투수계수보다 약 90배가 작게 평가되었다.
2. 인접 방조제의 끝막이 전 단계의 투수계수는 방조제의 내외 수위차의 변화가 크기 않으며, 인접 방조제 끝막이 및 준설성토가 진행된 상황에서 공사 중단에 따른 장기간 해수유통에 노출되어 사석재

료 및 바닥보호공 내에 준설해사가 일정정도 충전된 상태에서의 투수계수로 판단된다. 반면, 끝막이 이후의 바닥보호공 투수계수는 연구대상 방조제의 최종 끝막이가 완료됨에 따라, 안정된 상태를 유지하던 방조제 내에 급격하게 수위변화가 발생되고 내측 호수의 수위변화에 따라 방조제 내에 투수특성이 변화한 결과로 판단된다.

3. 이러한 결과는 연구대상 방조제 끝막이 구간은 내외 수위차에 의하여 일정 유속이 존재하는 조건에서 준설성토가 순차적으로 이루어 졌으며, 바닥보호공 재료가 크고 난적으로 성층되어 있어 상대적으로 인접 방조제에 비하여 준설해사 충전이 밀실하게 발생된 것으로 판단된다.
4. 또한, 연구대상 방조제 계측결과에 따른 해석단면의 침투수량은 일일 약 2.42m^3/day/m로 기존 연구결과 및 인접 방조제 계측에 따른 투수계수 적용 시 보다 약 29%감소하는 것을 도출되었다 이는 바닥보호공의 투수성이 상당부분 감소한데 기인하며, 총 침투량 중 바닥보호공을 통한 침투량도 감소하는 것으로 나타났다.
5. 현실적으로 복합재료로 축조되는 특히, 방조제의 사석단면 및 바닥보호공과 같이, 규격석 및 대석으로 1차 축조된 후, 준설매립을 통하여 사석재료의 공극이 작은 입자로 채워지는 복합재료의 경우, 정량적으로 정확한 투수특성 및 침투수량을 평가하는 것은 기술적 어려움과 공학적 판단이 상당히 요구되는 과정이다. 또한, 본 연구결과는 일부 시험공에 대한 계측결과와 단기간의 계측자료를 통한 분석으로 향후 지속적이고 장기적인 침투특성 평가가 요구된다.

참고문헌

1. 농업기반공사(2003), **방조제 계측관리 및 해측사면 거동분석**, 연구보고서
2. 오영인, 유전용, 김현태(2006), 근고공 필터매트 설치에 따른 방조제 끝막이 구간의 침투거동, **한국토목섬유학회 논문집**, 제5권, 제 1호, pp. 25-32
3. 이행우, 장병욱, 송창섭, 오영인(2005), 바닥사석층의 규모가 제체 침투피해에 미치는 영향에 대한 모의분석, **한국지반환경공학회 2005년도 학술발표회 논문집**, pp. 313~320
4. 오영인, 유전용, 김현태(2006), 준설해사로 충진된 방조제 바닥보호공의 투수계수, **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, pp. 1304-1307
5. 한국농촌공사 000사업단 (2005), **000 방조제 끝막이 종합계획서**,
6. 한국농촌공사(2006), **끝막이 구간의 필터 및 준설해사 단면축조기법 개발,** 연구보고서