

호안끝물막이 설계프로그램(F/C DIC Ver 2.0) 개발

Development of a Design Program for Construction of Final Closure

전태명*, 남궁돈**, 송치용***, 이종성****

Tae Myoung Jeon, Gung Don Nam, Chi Yong Song, Jong Sung Lee

Abstract

In case of constructing final closure in sea having big tide variation, the velocity in gap and the seepage velocity under therevet are faster because of inner and outer water level difference of therevet. Thus, the rubbles for final closure lose and the original ground is scoured by piping. There are several difficulties from the view of construction efficiency and safety. This study finds hydraulic phenomena in final closing construction area, develops a program for final closing simulation, minimizes the error during design and construction, and supports the engineering capacity for efficient and safe construction. The existing design method for final closure only considers the flow in gap, but the developed program considers the seepage inrevet and flow in closure gap. This developed program chooses the suitable rock size for final closing design and establishes the proper method for final closing construction.

Key words: final closure gap, design program,revet

요 지

본 연구는 매립공사를 위한 호안 끝물막이 시공에서 최종 물막이 구간의 유속 예측 및 적정 사석규격 및 시공방안을 설계하기 위한 방안을 수립하고자 실시하였다. 호안의 끝물막이 구간과 호안 체체를 통한 해수의 유출입량을 산정하고, 끝물막이 구간의 유속에 저항하기 위한 적정 사석규격의 선정과 점축식과 점고식 시공법중 수리학적으로 유리한 시공방법을 시공일자별 및 시공단계별로 결정 할 수 있게 함에 따라 효율적인 끝물막이 구간의 설계 및 시공관리를 가능하게 하였다. 본 연구에서는 2001년에 대림산업에서 개발된 프로그램을 업그레이드 하여 보다 사용자가 프로그램을 통하여 쉽게 결과값을 사용하고 분석할 수 있도록 하였다. 그 일환으로 User Interface 업그레이드와 아울러 엘셀 호환 및 도움말 기능 등을 추가하였다. 또한 배수갑문 이외에 중소규모 현장에서 적용되는 배수관거를 모의할 수 있도록 기능을 추가하였다. 이밖에 결과값들을 프로그램 자체에서 분석하여 그래프화 하거나 데이터화 하도록 하여 별도의 결과 분석 없이 결과값을 사용할 수 있도록 하였다.

핵심용어 : 호안끝물막이, 점축식, 점고식, 호안끝물막이 해석프로그램

1. 서 론

* 정회원-대림산업(주) 기술연구소E-mail : jtm333@daelim.co.kr

** 정회원-대림산업(주) 토목설계팀E-mail : ngdon@daelim.co.kr

*** 비회원-대림산업(주) 기술연구소E-mail : chiysong@daelim.co.kr

**** 비회원-대림산업(주) 기술연구소E-mail : jongsl@dic.co.kr

매립공사를 위하여 시공되는 호안축조는 방조제 공사와 매우 유사하다. 공사 초기단계인 일반 단계에서는 조류속 및 수리변화가 크지 않아 축조 재료나 공법을 쉽게 구상할 수 있으나, 최종 단계에서는 통수 단면적의 축조로 내외수위차 및 조류속이 크게 증가하여 일반단계와 다른 특수한 재료와 공법이 요구된다. 이와 같이 개방구간이 축조되어 내외수위차와 유속이 증가되는 구간을 끝물막이 구간이라 하며 끝물막이 구간을 폐쇄하는 공사를 끝물막이 공사라 한다. 끝물막이 공사는 우리나라의 경우 사석제 및 돌망태에 의한 사석제의 1차 물막이와 계속해서 시공되는 차수층의 성토 물막이가 있으나, 사석제 및 돌망태에 의한 1차 물막이가 극히 어려운 공사이므로 보통 끝물막이 공사라 함은 사석 및 돌망태에 의한 1차 물막이를 말한다. 끝물막이 공사시에는 특수한 재료와 공법으로 최대의 능력을 발휘하여 시공해야 한다.

본 연구에서는 끝물막이 공사중 발생하는 수리현상을 규명하고, 끝물막이공사를 모의할 수 있는 프로그램을 개발하여 시공중에 발생하는 시행착오를 최소한으로 줄임과 동시에 효율적이고 안전한 공사를 수행하는 데 도움을 줄 수 있는 기술력을 제고코자 하였다.

2. 끝물막이 해석 이론

본 연구에서 개발된 끝물막이 해석 프로그램에 적용되는 이론들은 개방구간에서의 해수유동(Homma 공식), 사석제체를 통한 해수유동, 배수갑문을 통한 해수유동, 축조재료(사석) 규격 결정 이론(Ishash 공식, 화란공식, Sheild 공식), 토사입경별 최대허용유속 산정 이론(Lagnbein 이론), Apron 길이 및 세굴량 산정 이론(Bligh 공식, Spagarren 공식, Netherland 공식), 바닥다짐공 이후의 세굴심 산정 이론(Spagaren 공식, Delft 공대 K.W.Pilarczyk 실험식), 활동 및 전도, Piping 및 원지반 유실 이론 등이 있다. 그중에서 가장 핵심이 되는 부분은 축조재료 규격을 결정하는 이론이다. 기존에 사용된 사석규모 산출 공식에 대한 적용성을 평가한 연구는 국내에서도 많이 수행되었으며 각각의 식들에 대한 거동특성을 파악하여 현장에 적절하게 적용하는 것이 중요하다. 본 프로그램에서는 기존의 이론들을 적용한 결과를 비교 분석할 수 있어 적절한 설계를 하는데 도움을 줄 수 있도록 하였다.

현재 축조재료 결정에 가장 많이 사용되고 있는 세가지 공식을 아래에 정리하였다. 축조재료의 규모를 산정하는 공식들의 특성을 충분히 이해하지 않고 설계를 수행할 경우 사석규모를 과소 또는 과대하게 산정하는 경우가 발생하게 된다. Isbash 공식은 완전한 흐름의 경우 Sill 위에서의 유속변화에 따라 사석의 규모를 결정하는 식으로 수심과 사석 직경의 관계가 5 ~ 10의 범위 내에서 유용하게 사용할 수 있다. 화란공식은 Netherlands 간이공식이라고도 불리우며 접근유속계수 α 를 약간 변형하여 사석의 공칭직경 및 중량을 계산하는 식이다. 이식은 화란 방조제 끝막이 공사시 축조용 모래 또는 흙주머니의 무게를 산정하는데 적용된 바 있다. Shields 공식은 유수의 동력학적인 힘과 석재의 저항력의 관계를 이용한 공식으로 현재까지 Rockfill Dam의 전통적인 설계방법에 적용되고 있다.

2.1 Isbash식에 의한 축조재료 결정법

Isbash 공식은 조류속에 의하여 이동되지 않는 사석의 규격을 결정하는 공식으로, 다음과 같이 표현된다.

$$W = \frac{\pi r_s V^6}{48g^3 y^6 (S_r - 1)^3 (\cos\theta - \sin\theta)^3} \quad (1)$$

v : 유속 (m/sec); y : 피복석의 시공상태에 따른 계수(노출된 경우 0.86, 흠에 묻힌 경우 1.2)

W : 사석의 단위중량(ton/EA); g : 중력가속도(9.8 m³/sec); S_r : 사석의 비중
 r_r : 재료의 비중; θ : 수평에 대한 비탈기울기(°)

2.2 화란공식에 의한 축조재료 결정법

축조재료 결정공식 중 가장 단순한 공식인 화란공식은 다음과 같이 나타난다.

$$W = \frac{\gamma_t}{\gamma_t - 1} \cdot v^6 \cdot A \quad (2)$$

W : 축조재료의 평균중량; A : 계수(점고식 0.04, 점축식 0.05)

γ_t : 재료의 비중; v : 유속 (m/sec)

2.3 Shields 공식에 의한 축조재료 결정법

Isbash 공식과 화란공식이 수심의 영향을 고려하지 못하는 데 비하여, Shields 공식은 수심의 영향을 고려하므로써, 보다 합리적인 결과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다.

$$\Delta D_n = \frac{r(k \times u)^2}{c^2 \times \phi \times K_s^2} \quad (3)$$

r = 안정계수(1.2); k = 난류계수(1.1); u = 유속(m/sec); D_n = 사석의 가상직경(m)

ϕ = 사석이 유속에 의해 이동이 시작되는 한계소류력의 계수

$$\phi = \frac{U_{cr}^2}{\Delta \cdot g \cdot D} = f\left(\frac{U_{cr}^* \cdot D}{v}\right) = f(R_{e^*})$$

Δ : 상대밀도($\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$)

c : Chezy의 조도계수, 수심 및 사석직경에 따라 다음식으로 결정

$$c(\text{Strickler}) = 25(h/2D_n)^{0.166} \quad (\text{시화방조제설계시 추천식})$$

$$c(\text{Chezy}) = 18 \log(6h/D_n)$$

K_s : 방조제 선단부의 형상계수(점고식일때는 1.0을 적용)

$$K_s = [\cos\theta(1 - (\tan\theta/\tan\phi)^2)^{1/2}]^{1/2}$$

3. 끝물막이 해석 프로그램 개발

본 연구에서 개발된 호안끝물막이 공사 설계 프로그램은 2001년 대림산업(주) 기술연구소에서 이미 개발된 호안끝물막이 공사 설계 프로그램(F/C DIC Ver 1.0)을 업그레이드 한 프로그램이다. 업그레이드된 프로그램은(F/C DIC Ver. 2.0) 기존식 이외에 최근 연구자들의 연구식을 적용하여 프로그램의 해석 엔진을 업그레이드하였으며 다양한 현장여건을 모의할 수 있도록 입력자료를 다양화 하였으며 입출력자료의 Visualization을 강화하였다. 또한 도움말 기능을 삽입하여 설계자가 별도의 참고자료 없이 프로그램 내에서 설계에 필요한 정보를 얻을 수 있도록 하였다.

프로그램은 델파이언어를 활용하여 Window환경에서 구동되도록 시스템화 되어 있다.

개발된 호안끝물막이 공사를 위한 프로그램의 구성은 입력화면인 [기본설정]과 해석조건에 따라 [설계시], [시공중] 및 [완공후] 검토로 나누어진다. 개발된 프로그램의 입출력 자료를 정리하면 아래 표1과 같다. 표 2에는 설계시 해석프로그램 순서도를 도시하였다. 특히 본 프로그램에서는 기존의 끝물막이공사 해석에서 사석제체를 통한 침투유량을 고려하지 못하여, 개방구간을 통한 흐름을 과다하게 해석한 면을 고려하여, 사석제체를 통한 흐름과 배수갑문과 배수관거 등을 통한 흐름을 고려하여 개방부의 유속 및 수위를 산정할 수 있도록 하였다. 사석제체를 통한 침투유량 산정시에 투수계수의 경우 프로그램 상에서 사용자가 값으로 입력할 수 있으며 또한 호안에 대한 실제 실험식이 있는 경우에는 외수위와 내외수위차를 이용하여 수식으로 입력할 수 있도록 하였다. 이때 입력될 수 있는 수식은 4차식, Log식, 지수식의 형태 세 가지로 나눌 수 있다. 개방구간의 유량계수도 투수계수와 마찬가지로 값 또는 수식으로 입력할 수 있도록 프로그램화 하였다. 또한 도움말을 삽입하여 설계자가 프로그램안에서 설계에 필요한 정보를 얻을 수 있도록 하였다.

표 1. 프로그램 구성 및 입출력 자료

기본설정	<ul style="list-style-type: none"> - 호안단면(호안의 제원 입력) - 조위설정(대조, 중조, 소조, 일자별 조위) - 내수위-용적곡선(POND수위와 저류량과의 관계) - 체체 특성 및 유량계수(투수계수 및 유량계수, 사석제 일반구간의 공극률 및 재료 규격) - 원지반 토질특성(원지반 입자의 입경, D10, D50, D60) - 호안제체 종단수심(호안 축조구간의 구간반 원지반고) - 배수갑문(배수갑문의 규격) - 배수관거의 규격(원형 또는 사각) - 장비작업량(Barge 및 Dump의 1일 작업량 및 투입대수) - 단위중량 및 계수설정(사석 및 해수의 비중 및 축조재료 해석시 필요한 계수) - CASE 설정(준체철구간 및 끝물막이구간 폭 설정 및 검토, 축조폭 및 축조고의 설정)
설계시 검토	<ul style="list-style-type: none"> - 수위차 및 유속(대조, 중조, 소조시의 개방구간 폭과 바닥고에 따른 수위차 및 유속 산정, 최대조위차 및 최대 유속 산정) - 호안축조단계 (대조, 중조, 소조 시때의 발생 유속에 따른 최적 축조방법의 결정) - Apron (최적 시공법에 따른 Apron의 설치 범위 및 재료 입경 검토) - 단계별축조재료 (호안축조 방법에 따른 사석 규격의 결정 및 개방구간 상태에서의 Sill 보 호공 설정)
시공중 검토	<ul style="list-style-type: none"> - 수위차 및 유속(설정 일별 개방구간폭 및 바닥고에 따른 수위차 및 유속 산정, 최대 유속 및 최대 조위차 산정) - 일자별 축조재료(설정일별 조위에 따른 축조재료의 크기 결정, 각 공식별 축조재료의 크기 비교)
완공후 검토	<ul style="list-style-type: none"> - 완공후 수위검토 (호안 축조후 대조에 제체 침투류에 따른 POND수위 검토 및 뒷채움토사 시공에 따른 호안내 최대 내외수위차 산정) - 활동 및 전도 검토 : 배면 보호공 진행에 따른 호안의 활동 및 전도 검토 - 배면공 검토 : Piping이 발생하지 않는 배면보호공의 폭 결정 - 원지반세굴 : 배면보호공 진행에 따른 원지반의 세굴 영향 검토

4. 결 론

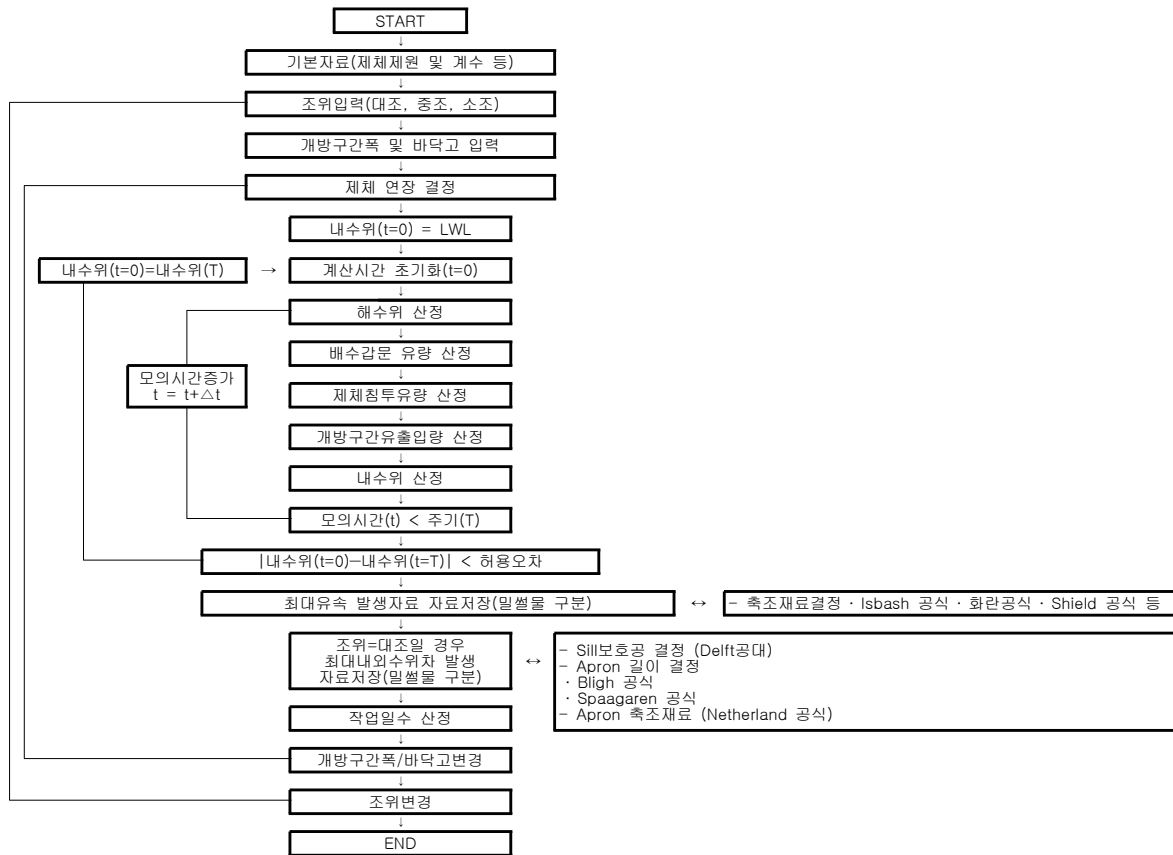
본 연구는 서해안과 같이 조차가 큰 해상에서 호안 끝물막이를 하는 경우, 개방구간을 통하여 발생 되는 빠른 유속과 호안의 내외측에서 발생하는 수위차에 의하여 발생하는 침투유속으로 인한 호안 끝물막이의 어려움을 최소한으로 줄이고, 효율적이고 안전한 공사를 수행하는 데 도움을 줄 수 있는 기술력을 제고하고자 한다.

특히, 기존의 끝물막이구간의 해석에서는 사석제체를 통한 침투유량을 고려하지 못하여, 개방구간

을 통한 흐름을 과다하게 해석한 면이 있으므로, 이에 따른 사석재료 크기를 과다 산정하는 것을 방지할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 끝물막이의 사석재료는 가능한 작은 재료로 시공하는 것이 향후 호안축조후에 침투유속을 저감시켜서 배면공 시공성이 확보될 수 있다.

본 연구에서 제시하는 프로그램은 시공일별 조위에 따라서 축조재료의 규격을 결정할 수 있으므로, 실제 시공시에 사석재의 규격을 결정할 수 있도록 하였다. 완공후에는 사석재의 활동, 전도, 파괴 등을 배면 매립공의 진행과정에 따라서 확인할 수 있으며, 침투류에 의한 원지반의 세굴 가능성을 예측하여 호안 침하 등의 위험에 적절히 대처할 수 있도록 하였다.

표 2. 설계시 해석프로그램 순서도



참고문헌

1. 박형섭, 김민수, 남궁돈, 이승환(2001), 호안 끝물막이 설계프로그램 개발, 대림산업(주) 연구 과제 최종 보고서.
2. 항만 및 어항설계기준(2005), 해양수산부.
3. 시화방조제 끝막이 보고서(1994), 농어촌진흥공사 시화사업단.
4. 하천설계기준(2005), 한국수자원학회.