

호안 안정성 평가 프로그램 개발 및 매뉴얼 소개



김 상 문 |
상지대학교 토목공학과 석사과정
ksmt0607@sangji.ac.kr



최 흥 식 |
상지대학교 건설시스템공학과 교수
hsikchoi@sangji.ac.kr

1. 서론

하천은 공학적인 기능을 갖는 이수·치수기능과 하천식생물의 서식처 제공, 수질자정작용, 심미적인 기능 등을 갖는 환경적인 기능을 가지고 있다. 이런 중요한 기능을 갖고 있는 하천은 최근 도시화, 산업화로 인해 하천의 본래 모습을 잃어버리고 있다. 최근에는 하천환경의 중요성이 대두되면서 생태의 건전성과 이로부터 창조되는 어메니티(amenity)를 위한 하천에서 생태호안의 설계기술 개발과 치수차원의 재해로부터 안전한 하천환경을 구축하기 위한 사람과 환경이 어우러지는 생물 서식환경 개선에 대한 설계기술의 개발이 강조되고 있다. 이에 따라서 다양한 식생의 활착을 유도하여 생태성과 수리적 안정성이 강화할 목적의 식생호안

이 고안이 요구되고 있다. 이러한 형태의 호안은 홍수시 유실에 대한 안정성의 확보와 식생의 도입에 의한 생태성을 반영하는 기술개발의 필요성과 더불어 돌망태 호안과 식생호안블록 호안의 안정성의 유무를 평가할 수 있는 프로그램의 개발도 필요하다. 본 고에서는 홍수시의 제방주위의 유수에 의한 전단력을 호안의 침식 외력으로 하고, 제방을 피복하는 식생 및 제방이나 고수부를 구성하는 토질 및 호안재료의 침식내력을 산정하여 제방의 제외지 즉 비탈면이 침식되는가를 평가하여 하천제방의 안전성을 평가하는 프로그램을 개발하였다. 하천제방 관련 선진기술 개발(전기평, 2004) 및 수리적 안정성 분석을 통하여 각 호안공의 내·외 소류력의 각종 변수를 정의하였으며, 식생호안공 경우 평균 근모량, 홍수 지속시간 등의 변수와 돌망태공에 대해서는 블록의 형상에 따른 수면구배에 의한 상당조고 값, 자연석과 깬석으로 구분되는 재료의 수중 안식각 등을 적용된다. 식생호안 블록공의 경우 호안블록의 양력 및 항력계수(Yamamoto 등, 2000)가 중요한 변수이다. 호안 블록의 형상과 항력·양력 특성(Tamura 등, 2003)에 관한 연구로 8개의 블록의 형상에 따라 Reynolds 수에 따른 항력 및 양력계수 실험결과를 이용한 관계곡선식을 외삽보간하여 프로그램에서 사용한 호안 안정성 평가 프로그램을 소개한다.

2. 호안의 안정성 평가

2.1 식생호안

식생호안의 경우 평균근모량(σ_0), 제방에 침식이 발생하여도 붕괴에 이르지 않는 허용 침식 깊이 (Z_{brk}), 유수에 의한 전단력이 작용하는 지속시간(t)을 각각의 변수로 사용하여 내력 소류력을 산출하였다. 식생의 표면침식내력 u^* 는 식 (1)과 같다.

$$u_* = \frac{Z_{brk}}{\alpha} \cdot \frac{1}{\log t} \quad (1)$$

여기서 α 는 침식되기 쉬움을 나타내는 계수 (50 $\sigma_0 + 9$)의 값을 가진다. 외력 소류력의 변수는 조사 지점의 계획홍수위와 최심하상고의 차인 설계수심 (H_d)과 조도계수(n)를 이용하여 유속계수(ϕ)를 산정한다. 식 (2)는 유속계수를 보여준다. 여기서 g 는 중력가속도이다.

$$\phi = (1/n) \cdot (H_d^{1/6} / \sqrt{g}) \quad (2)$$

$$u_*' = V_0 / \phi \quad (3)$$

산출된 유속계수와 대표유속 V_0 을 이용하여 외력 소류력 u_* 을 구해보면 식(3)과 같다.

2.2 돌망태공

대조(reference) 호안으로 선정된 돌망태공의 경우 망태의 변형에 따라 제시되는 무차원 소류력(τ^*d), 비탈면의 각도(θ), 그리고 재료의 수중안식각(ϕ)을 나타내어 식 (4)와 같이 내력 소류력을 산출하였다. 무차원 소류력(τ^*d)는 한계 소류력의 값 0.05(kgf/m²)에서 망태의 변형을 허용하지 않는 경우의 0.1의 값과 망태의 변형을 다소 허용하는 경우의 값 0.12를 가진다. 돌망태의 무차원 내력 소류력 τ^*sd 는 다음과 같다.

$$\tau^*_{sd} = \tau^*_d \times \cos\theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2\theta}{\tan^2\phi}} \quad (4)$$

수면구배에 따른 상당조도 값(k_s), 대표유속과의 값을 가지는 유속계수(ϕ), 하상재료의 수중비중(s), 돌망태속들의 평균 입경(D_m)으로 외력 소류력을 산출하였다. 돌망태공의 무차원 외력 소류력 τ^*sd 와 유속계수 ϕ 는 다음과 같다. 이 때, u_* 는 대표 유속의 값을 식 (6)을 통해 산출한 유속계수의 값으로 나누어 구한다.

$$\tau^*_{sd} = u_*'^2 / (s \cdot g \cdot D_m) \quad (5)$$

$$\phi = 6.0 + 5.75 \log_{10}(H_d/k_s) \quad (6)$$

$$u_* = V_0 / \phi \quad (7)$$

이 때, H_d 는 설계수심을 나타낸다.

2.3 식생호안블록공

식생호안 블록공 역시 내·외력 소류력을 이용하여 호안의 안정성의 유무를 판단한다. 양력계수 산출시 Reynolds 수를 구한 후, 블록을 단체 및 군체의 집단으로 분류한 테이블에서 블록의 형상을 선택하여 Reynolds 수에 따른 적합한 양력계수(C_L)를 산출하도록 프로그램이 되어 있다. 비탈덮기공의 위쪽에서 바라본 투영면적(A_b), 설계 유속(V_d)을 이용하여 양력을 산출하도록 되어 있다. 양력 L 은 다음과 같다. 이 때 p_w 는 물의 밀도이다.

$$L = \rho_w / 2 \cdot C_L \cdot A_b \cdot V_d^2 \text{ (kgf)} \quad (8)$$

그 후, 산출된 양력으로 흙과 방지재 사이의 마찰계수(ω)와 비탈덮기공의 부재 수중중량(W_w), 비탈면의 경사각(θ)을 이용하여 내력 소류력을 산출한다. 식 (9)은 호안 블록공의 내력 소류력을 계산하는 식이다. 이 때, 비탈덮기공의 부재 수중중량은 식 (10)로 구할 수 있다.

$$\mu(W_{II} \cdot \cos\theta - L) \quad (9)$$

$$W_{II} = (\rho_b - \rho_w) \cdot g \cdot K_v \cdot A_d \cdot t_b \quad (kgf) \quad (10)$$

여기서 ρ_b 는 블록의 밀도, K_v 는 체적보정계수, t_b 는 비탈뒀기공 지지두께이다.

항력의 계산에서 항력계수도 마찬가지로 양력계수 산출과 비슷하게 DB를 연동하여 항력계수(C_D)를 산출한다. 산출된 항력계수와 설계수심(H_d), 설계유속(V_d), 투영면적(A_d)을 이용하여 항력(D)을 산출한다.

$$D = \rho_w / 2 \cdot C_D \cdot A_D \cdot V_d^2 \quad (kgf) \quad (11)$$

산출된 항력과 비탈뒀기공 수중 부재중량과 비탈면 경사각도를 이용하여 내력 소류력을 산출하도록 되어 있다. 식 (12)는 호안 블록공의 내력 소류력을 계산하는 식이다.

$$(W_{II} \cdot \sin\theta)^2 + D^2)^{1/2} \quad (12)$$

3. 프로그램의 구성

본 프로그램은 GUI기반의 Visual-Basic을 언어 사용하였으며, Date-Base를 바탕으로 한 Menu-Driven방식의 프로그램이다. 식생호안공과 식생호안 블록의 안정성 평가를 실시하도록 되어 있으며, 현재 많이 사용하고 있는 돌망태 호안을 대조(reference) 호안으로 선정하여 각 호안공의

계산된 내·외력 소류력을 비교 분석을 통하여 안정성의 유무를 판단하는 것으로 그림 1에서와 같다.

프로그램의 구성을 살펴보면 그림 2와 같이 Menu Bar와 Tool Bar, 그리고 호안의 종류로 구성되어 있다. Menu bar에는 파일, 호안 종류, 도움말이 있으며 Tool bar에는 새 파일, 열기, 저장, 도움말 아이콘이 있다. 크게 Main Form에서 좌측으로는 호안의 종류인 식생호안, 돌망태공, 호안 블록공이 있으며 우측에는 각 호안공을 클릭했을 경우 새로운 창이 나타나는 Sub Form이 있다.

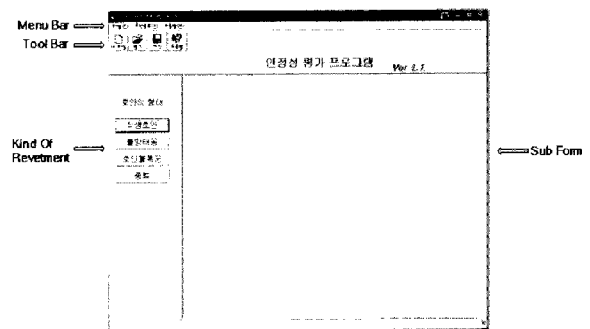


그림 2. Main Form

3.1 식생호안의 입력자료

식생호안공의 입력 변수 중 내력 변수에는 평균 근모량(그림 3), 제방에 침식이 발생하더라도 붕괴에 이르지 않는 최대침식깊이인 허용 침식깊이, 유수에 의해 전단력이 작용하는 지속적인 시간인 전단 응력 지속시간이 있으며 이는 그림 4에 나타내었다. 이 중 근모량의 DB는 현재 지속적인 실험 및 분석

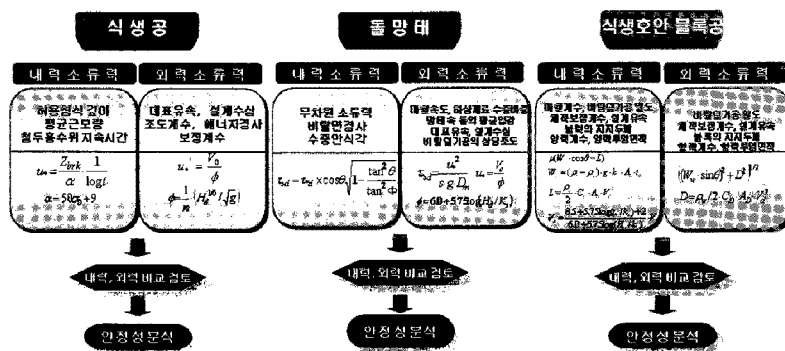


그림 1. 안정성 평가

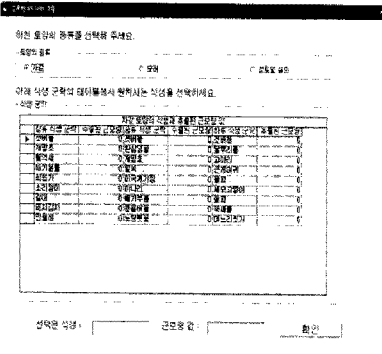


그림 3. 근모량

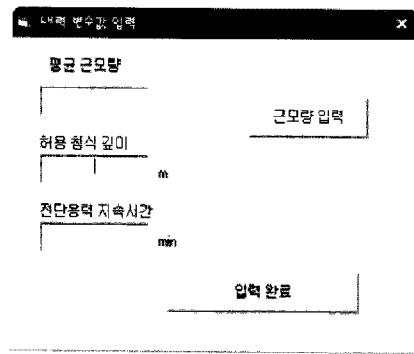


그림 4. 내력 변수

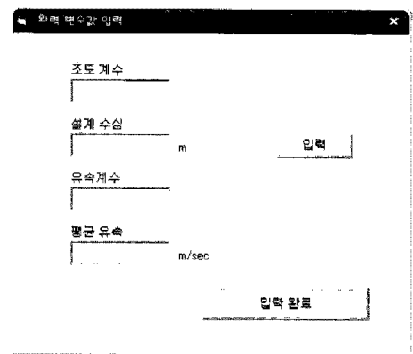


그림 5. 외력 변수

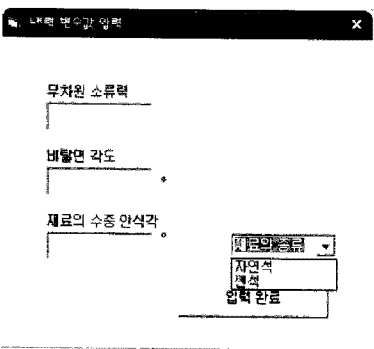


그림 6. 내력 변수

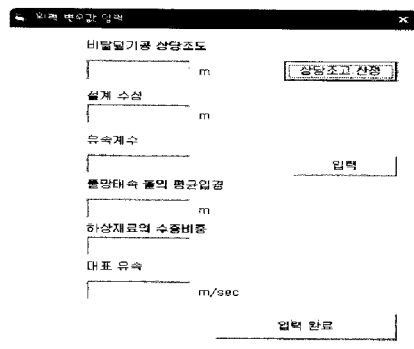


그림 7. 외력 변수

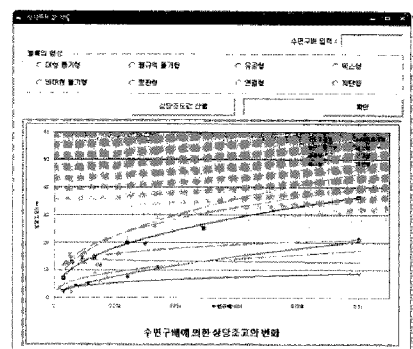


그림 8. 수면구배에 의한 상당조고

을 하여 추가적인 업데이트를 지속적으로 실시할 예정이다. 외력 변수에는 조도 계수, 설계수심, 유속 계수, 평균 유속이 있으며, 그림 5에 나타내었다.

3.2 돌망태호안의 입력자료

돌망태공의 경우 내력 변수에는 소류력과 비탈면의 각도, 그리고 재료의 종류에 따라 구분 되어지는 수중 안식각으로 나타내었으며, 그림 6에 나타내었다. 외력 변수(그림 5)의 경우에는 상당조고와 설계수심, 유속 계수, 돌망태속 돌의 평균입경, 하상재료의 수중밀도, 대표 유속을 입력하여 외력 소류력을 산정한다. 이때 수면구배에 따른 상당조고의 변하는 실험결과는 DB화하여 사용한다.(그림 8)

3.3 식생호안블록호안의 입력자료

식생호안블록공의 경우 외력 변수에는 먼저 항력(그림 9) 및 양력계수(그림 10)를 산출하고, 그 다음

호안공의 투영면적과 유속을 산정하여 양력을 산출한다. 그 다음 흙과 방지재 사이의 마찰계수와 비탈면 경사각도를 산정하여 내력 소류력을 산정한다. 그 후 호안공의 수중중량과 경사각도를 이용하여 최종 내력 소류력을 산출하게 프로그램 되어 있으며, 그림 12에 나타내었다. 입력자료로는 양력 및 항력계수 아이콘의 출력을 통해서 호안의 형태, 비탈면 덮기(호안공)의 투영면적 설계유속, 흙과 호안

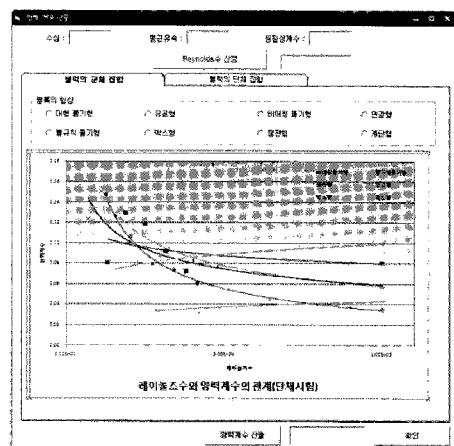


그림 9. 양력 계수

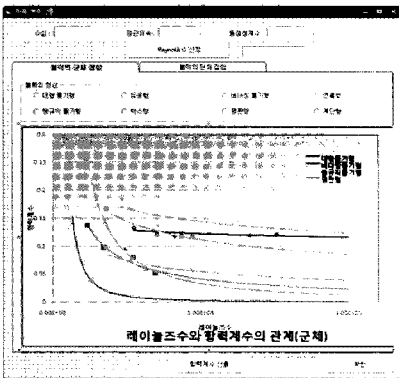


그림 10. 항력 계수

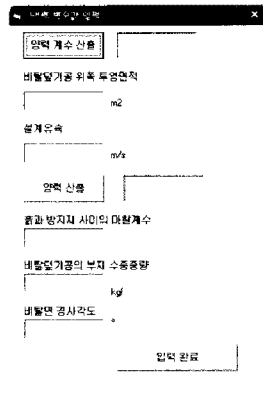


그림 11. 내력 변수

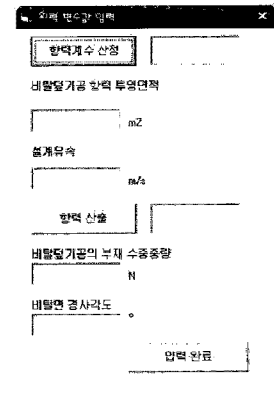


그림 12. 외력 변수

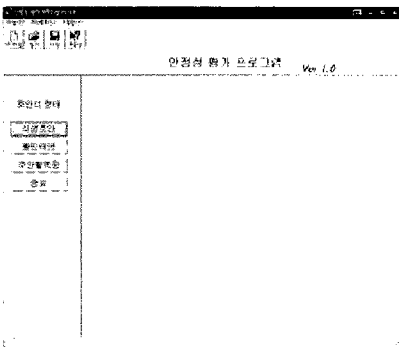


그림 13. Main 폼

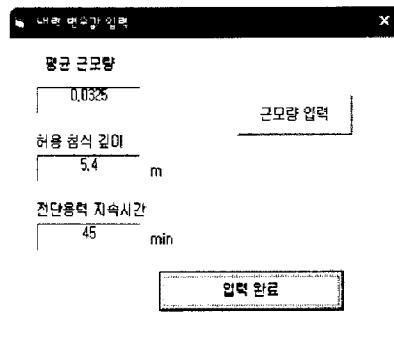


그림 14. 내력 소류력

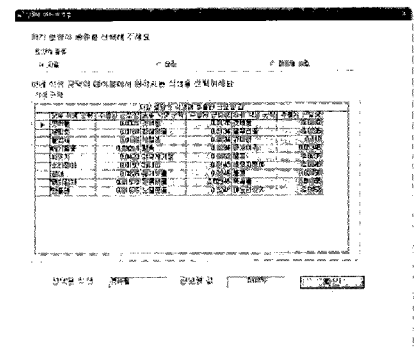


그림 15. 근모량 DB

공사 사이의 마찰계수, 호안공의 수중중량, 비탈면 경사가 입력한다.

4. 프로그램의 적용

연구 개발된 호안 안정성 평가기법을 바탕으로 개발된 호안 안정성 평가 프로그램으로 실제 국내 하천의 안정성 검토를 프로그램을 실행시켜 모의해 보았다.

4.1 식생호안공

식생호안공의 경우 홍천 내촌천 중류지역의 용두안2교 No.192+10 지점을 적용시켜 보았다. 호안 안정성 평가 프로그램을 실행시켜 생성된 Main 폼에서 식생호안공을 클릭한다(그림 13). 먼저 내력 소류력을 산정하기 위해 그림 14와 같이 평균 근모

량, 허용 침식 깊이, 전단응력 지속시간을 입력한다. 근모량의 경우 현재까지 연구된 내용으로 구축된 DB를 이용하여 산정하도록 되어 있다. 그 후, 외력 소류력을 산정(그림 16)하게 되는데, 조도 계수와 설계수심을 이용하여 유속계수를 산정한 뒤, 평균유속을 입력하여 외력 소류력을 산정한다. 그 후, 비교 분석을 통해 안정성의 유무를 판단하게 된다. 그림 17은 분석된 결과를 나타내고 있다.

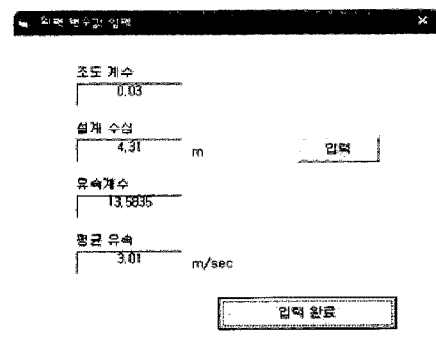


그림 16. 외력 소류력

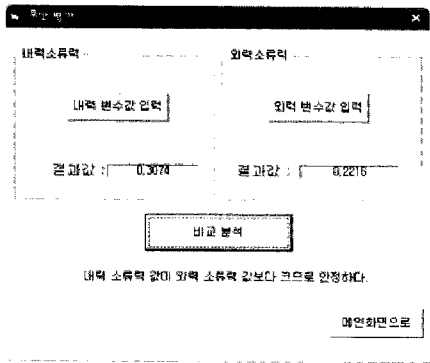


그림 17. 분석된 안정성의 유무

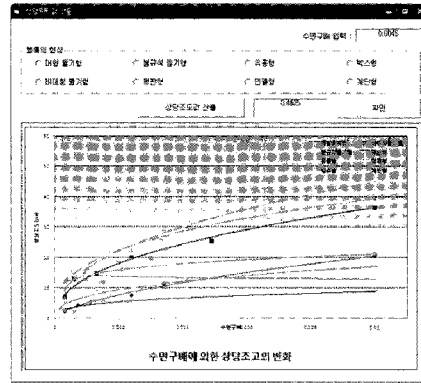


그림 21. 상당조고

4.2 돌망태공

돌망태공의 경우 둔내 주천강 상류지역 No.393+25 지점에 대하여 적용을 시켜 보았다. 돌망태공을 클릭하여 그림 19와 같이 내력 변수값 창에 무차원 소류력과 비탈면 각도, 깎석과 자연석으로 구분되어지는 수중 안식각을 입력하여 내력 소류력을 산정한다. 그 후 그림 20과 같이 외력 소류력의 경우 상당조고 값과 설계 수심을 이용하여 유속계수를 산정하게 되어 있다. 상당조고는 그래프에 나타내어지는 값을 바탕으로 산정되도록 프로그램 되어 있다(그림 21). 그림 22는 산정된 내·외력 결과값을 바탕으로 비교를 통한 분석을 나타낸다.

4.3 식생호안블록공

식생호안블록공의 경우 평창강 방림지역 상방림

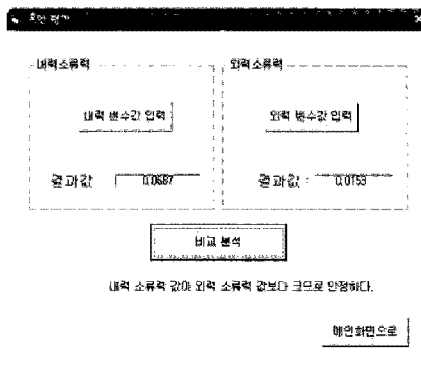


그림 22. 분석된 안정성의 유무

교 No.155지점에 대하여 적용을 시켜 보았다. 그림 23과 같이 Main 폼에서 호안블록공을 클릭하여 내력변수값과 외력 변수값을 입력하게 되어 있다. 내력 변수값은 먼저 양력계수 값을 산출하도록 되어 있다. 레이놀즈수에 따른 양력계수를 산정(그림 25)하여 그림 26에서 보이는 것과 같이 투영면적과 설계유속을 입력하여 양력을 산출하고, 비탈면 경사각도 등을 입력하여 최종 내력 소류력을 산정한다. 다음은 외력 소류력을 산정하는 창으로써 내력

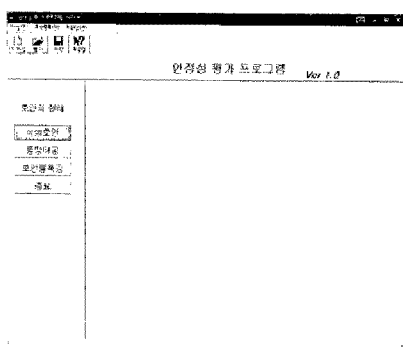


그림 18. Main 폼

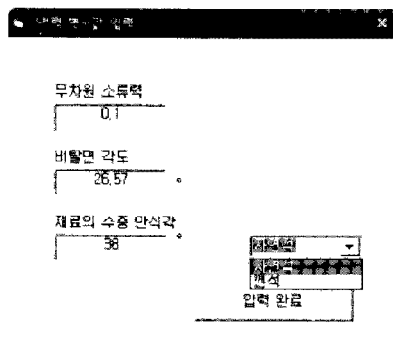


그림 19. 내력 소류력

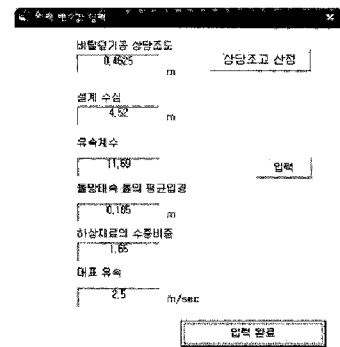


그림 20. 상당조고 산정

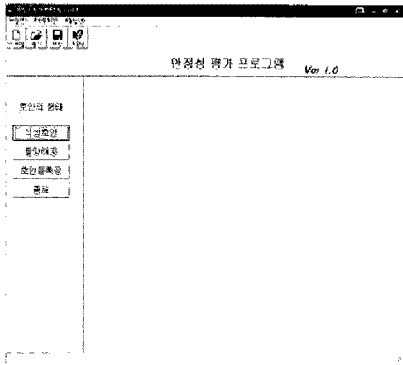


그림 23. Main 폼

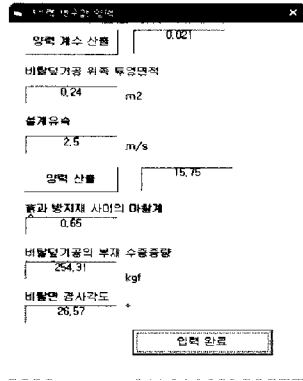


그림 24. 내력 변수

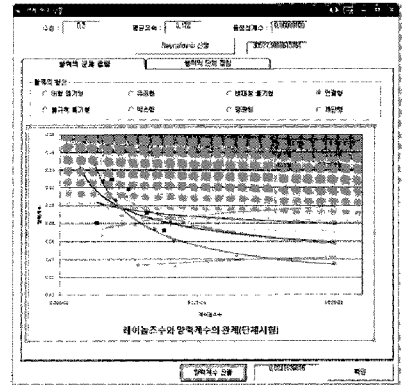


그림 25. 양력 계수

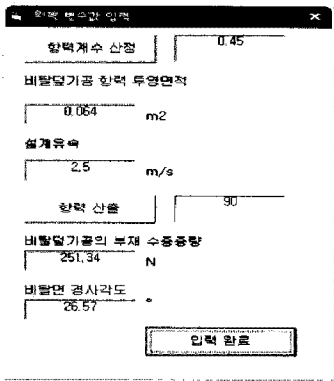


그림 26. 외력 변수

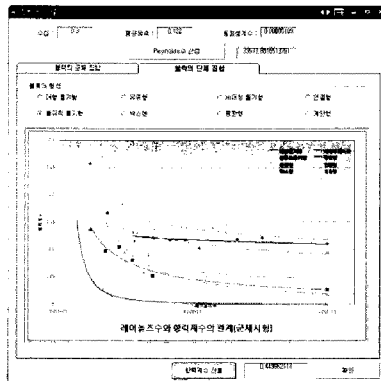


그림 27. 항력 계수

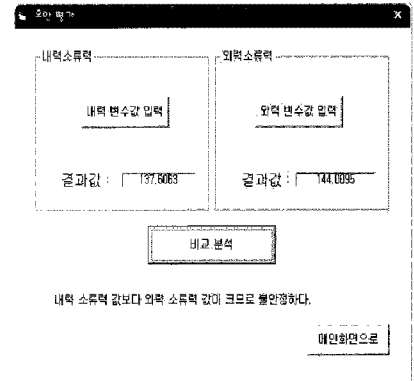


그림 28. 비교 분석된 안정성의 유무

소류력과 같은 절차를 거쳐 산정하도록 프로그램 되어 있다. 그림 27에서 보여지는 것과 같이 항력 계수를 산출하여 항력을 산정한 뒤 비탈면 경사각도 등을 입력하여 최종 외력 소류력을 산정하고, 내·외력 결과값을 바탕으로 비교를 통한 분석을 나타낸다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(자연과 함께하는 하천복원 기술개발ECORIVER21; 과제번호06건설핵심B01)에 의해 수행되었습니다. ☘

참고문헌

1. 건설기술교통평가원(2004). 하천제방 관련 선진기술 개발 최종 보고서.
2. 박영욱, 황보연, 구본충, 박상현 (2005) 방조제 끝막이 구간에서 유속에 대한 사석 및 돌망태의 안정성 분석. 한국관개배수, 제12권, 제2호, pp. 26-36.
3. 윤광석, 김규호, 이성준 (2006) 하천제방의 안전성(수공학측면), 한국수자원학회지, Vol. 39 NO. 5
4. 이대식(2007). Visual Basic 6.0, 정익사
5. 田村正秀, 木下正暢, 浜口憲一郎, 阿部康紀 (2003). "護岸ブロックの形状と抗力 揚力特性について", 流体力の評価とその応用に関するシンポジウム.
6. 山本A晃一, 林建二郎, 關根正人, 藤田光一, 田村正秀, 西村晋, 浜口憲一郎 (2000). "護岸ブロックの抗力・揚力係數および相当粗度の計測方法について", 수공학논문집, 제44권, pp.1053~1058.