

MATLAB GUI 환경기반 신뢰성 설계기법의 개발 Development of Reliability-Based Design Program based on the MATLAB GUI Environment

정신탉* · 고동휘* · 박태훈* · 김정대* · 조홍연**

Shin Taek Jeong*, Dong Hui Ko*, Tae Hun Park*, Jeong Dae Kim* and Hongyeon Cho**

요 지 : 국제 설계규준의 변화로 다양한 신뢰성 설계기법(절차)이 개발되어 있으나, 기존의 결정론적 설계에 익숙한 기술자가 사용하기 적합한 가시환경 신뢰성 해석 프로그램의 개발은 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 신뢰성 설계 종사자가 보다 효율적으로 설계를 수행하고, 보다 개선된 작업환경에서 수월하게 설계인자 정보를 입력하여 해안구조물의 신뢰성 설계를 가능하도록 하는 GUI 환경 설계프로그램을 개발하였다. GUI 환경은 최근 Matlab 7.1 환경에서 제공하는 GUIDE (Graphic User Interface Development Environment) 도구를 이용하였다. 개발된 모델의 신뢰수준 파악을 위하여 신뢰성 설계 프로그램의 Level II, Level III 방법을 이용하여 산정한 결과 방파제 피복블럭과 중력식 안벽의 활동모드 파괴확률은 각각 55.4~55.7%, 0.0006~0.0007% 범위로 파악되었다. 기존의 설계결과에 따른 파괴확률은 피복블럭의 경우 55.6%, 중력식 안벽의 경우 0.0018% 정도로, 정확한 설계인자가 가용한 피복블럭은 본 프로그램을 이용한 경우와 정확하게 일치하고 있으나, 설계인자 정보가 부족한 중력식 안벽의 경우에는 동일한 설계 인자의 입력이 제약된 차이로 인하여 활동모드 파괴확률이 차이를 보이고 있는 것으로 판단할 수 있으나 그 파괴확률의 정도는 일치하고 있는 것으로 파악되었다.

핵심용어 : MATLAB GUI 환경, 신뢰성 설계, 파괴확률, 방파제 피복블럭, 중력식 안벽

Abstract : Development of the reliability-based design program in the GUI environment is inadequate for engineers familiar with the deterministic design to deal with the international design criterion based on the probabilistic design. In this study, the design program based on the GUI environment is developed in order to more efficiently input the design factor and more easily carry out the design works. The GUI environment is the GUIDE (Graphic User Interface Development Environment) tool supported by the latest MATALB version 7.1. In order to test the model reliability, the probabilities of failure (POF) on the breakwater armor block (AB) and gravity quay-wall (QW) in the sliding mode are computed using the model in the Level II and Level III. The POF are 55.4~55.7% for breakwater AB and 0.0006~0.0007% for gravity QW. A non-GUI environment program results of the POF are 55.6% for breakwater AB and 0.0018% for gravity QW. In comparison, the POF difference is negligible for breakwater AB because the exact input design parameters are available, whereas the large POF difference, but within the same order, for gravity QW can be explained by the difference of the input design factors because of the poor input data information.

Keywords : MATLAB GUI Environment, reliability-based design, probability of failure, breakwater armor block, gravity quay-wall

1. 서 론

해안 구조물의 신뢰성 설계는 다양한 환경조건 아래 다양한 구조물에 대하여 그리고 기본적인 신뢰성 설계 수준(Level I, II, III)에 따라 가능한 파괴 유형에 대하여 안전 여부 및 파괴확률 등을 검토하여야 하기 때문에 설계 유형을 체계적으로 구분하여 수행할 필요가 있다. 또한 최적의 설계 단면을

도출하기 위해서는 다양한 설계 조건에 대한 반복검토과정을 필요로 하기 때문에 전산화된 과정의 도입이 불가피하다. 한편 복잡한 설계과정에서의 오류는 설계인자의 입력과정과 설계 수준에 따른 계산·검토 과정 모두에서 빈번하게 발생할 수 있기 때문에 오류 및 계산 실수 등을 사전에 효율적으로 방지할 수 있는 가시화된 절차를 필요로 한다. 많은 입력변수를 필요로 하는 모형이나 계산과정에서는 입력과정에서의 오

*원광대학교 토목환경공학과(Corresponding author: Shin Taek Jeong, Department of Civil and Environmental Engineering, Wonkwang University, 344-2, Shinyoung-Dong, Iksan, 570-749, Korea, stjeong@wonkwang.ac.kr)

**한국해양연구원 해양환경방제연구부(Department of the Marine Environment and Pollution Prevention Research, Korea Ocean Research & Development Institute)

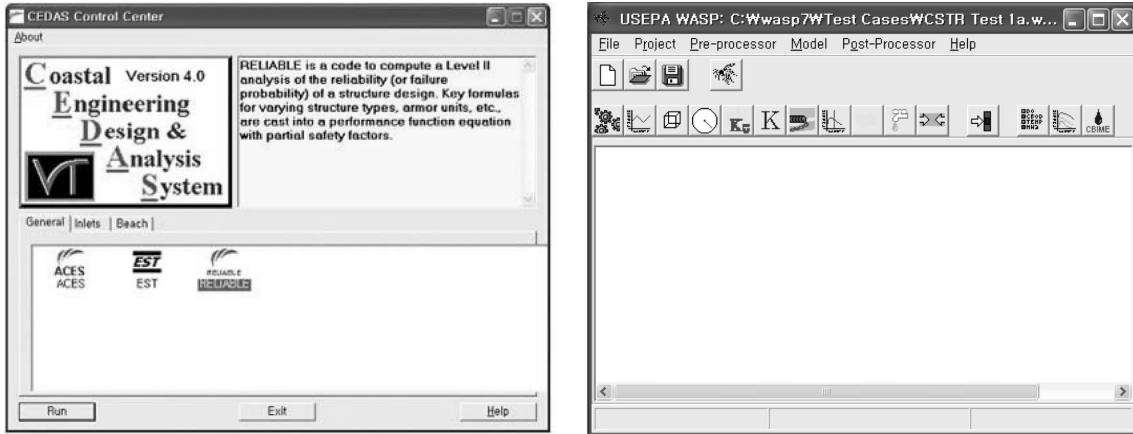


Fig. 1. Initial Display of a Program in the GUI environment.

류를 줄이고, 입력 자료가 적절한지를 누구나 쉽게 검토할 수 있는 환경이 제공되고 있다. 이러한 입력환경 개발-제공은 주로 공학적인 전산모형에서 널리 이용되고 있으며, 설계분야에서도 수요가 급증하고 있기 때문에 신뢰성 설계에서도 GUI 환경 기반 설계인자 정보의 입력은 매우 기본적으로 필수적인 과정이다. 이러한 수요에 부응하기 위하여 다양한 GUI 기반 프로그램 개발환경이 제공되고 있다. 수질모형에서는 QUAL-2K 또는 WASP 7.0 모형의 수행을 위한 입력 자료를 MS Excel-2002 환경에서 입력이 가능한 환경(Fig. 1)을 제공하고 있으며, 다른 설계 관련 프로그램에서도 GUI 기반 가시화된 환경을 제공하고 있는 실정이다. Melby and Mlakar (1997)는 FORTRAN 언어를 이용하여 신뢰성 해석을 수행하는 전산프로그램을 개발하였으며, 미국 Army Corps of Engineer, Waterways Experiment Station 기관에서는 연안, 해양 및 수리학 분야에서 사용하는 CEDAS 모형에서도 GUI 프로그램을 개발하여 보급하고 있으며, 여기에는 ACES, EST, RELIABLE 등의 모듈을 포함하고 있다. 여기서 RELIABLE은 해안 구조물 설계시 Level II로 신뢰성 해석을 실행하는 모듈이며 (Fig. 1 참조), 복잡한 신뢰함수 정의과정과 ‘신뢰도 지표’ 또는 ‘신뢰도’ 계산내용을 포함한다.

본 연구에서는 신뢰성 설계 종사자가 보다 효율적으로 설계를 수행하고, 보다 개선된 작업환경에서 수월하게 설계인자 정보를 입력하여 해안구조물의 신뢰성 설계를 가능하도록 하는 GUI 환경기반 프로그램을 개발하였다. GUI 환경은 최근 Matlab 7.1 환경에서 제공하는 GUIDE (Graphic User Interface Development Environment) 도구를 이용하였으며, 본 연구에서 개발한 GUI 기반 해안 구조물 신뢰성 프로그램의 검증을 위하여 방파제 피복블럭과 중력식 안벽의 파괴확률을 계산하여 기존의 유사한 또는 동일한(가능한 경우) 해안구조물 설계결과와의 비교·분석을 수행하였다.

2. 해안구조물의 신뢰성 설계 기법

해양구조물을 설계하는 경우 많은 불확실한 요소들이 내재

하게 된다. 즉, 하중과 구조물 부재가 갖는 저항은 우리가 생각하는 바와 같은 결정론적인 변수가 아니다. 이들은 개념적으로 무한한 범위를 가지는 확률변수이기 때문에 최적화 설계에서는 절대적으로 안전한 즉 파괴확률이 0인 설계를 수행할 수 없다. 따라서 해양구조물은 유한한 파괴확률을 갖는 역할을 수행하도록 설계되어 진다. 구조물의 신뢰성은 특정 설계 수명동안 구조물이 설계 목적을 수행할 수 있는 능력을 의미한다. 이러한 의미에서 ‘신뢰성’은 구조물이 의도된 기능을 수행하는 데 실패하지 않을 확률과 동일하게 이해하기도 한다. ‘실패(failure)’는 최소의 실패, 즉 규정된 허용 범위를 초과하기 시작하는 경우로 정의되지만 여기서는 본래 구조물이 기능 수행을 못하기 시작하는 실패를 의미한다. 또한 최악의 실패는 구조물의 완전 붕괴를 의미하는 것으로 간주할 경우, 본 연구에서의 실패는 그 최소와 최악의 사이에서의 실패로 볼 수 있다. 기존의 결정론적 설계법에선 구조물이 약간의 거동을 하더라도 이를 파괴라 정의하는 최소의 실패에 해당하지만 이는 구조물이 약간의 거동을 보이기 시작했을 뿐 구조물의 기능 수행 부분에선 전혀 문제가 일어나지 않기 때문에 본 연구에서는 실패라 정의하지 않는다. 최근 신뢰성 설계법의 연구가 활발히 진행되면서 항만 구조물 설계 시 신뢰성 이론을 접목시킨 신뢰성 설계 기법이 발전하여 국제적 설계 기준의 변화로 이어지고 있다. 특히 국제표준화기구(ISO)의 ISO 2394, 미국의 CEM, 유럽공동체의 EUROCODE, 일본의 TSPH(The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, 2009) 및 북미의 LRFD(하중저항계수설계법) 등 국가별로 기준에 맞는 신뢰성 설계법을 채택하여 사용하고 있다. 이처럼 국외설계기준이 신뢰성 설계법을 중심으로 변화되어 가고 있기 때문에 우리나라도 이에 적극적으로 대처하여 해양수산부(2001~2005), 국토해양부(2010a,b)에서 관련 기술을 개발하고 있다. 방파제에 대한 신뢰성 설계 기법의 연구는 1980년대 중반부터 시작되었다. van der Meer(1988)는 불규칙 파랑이 작용하는 사석 방파제에 대하여 결정론적 및 확률론적인 방법을 제안하고, Burcharth(1992a,b)는 사석 방파제에 대하여 부분안전계수를 도입한 신뢰성 설계 기법을,

Burcharth and Sorensen(1998)은 동일한 방법을 직립방과제에 적용하였다. Burcharth and Sorensen(1999)은 PIANC WG 결과를 요약하여 연직 및 경사 콘크리트 벽체를 가진 사석 방과제에 대한 부분안전계수를 산정하였다.

우리나라 직립 방과제는 주로 Goda(1974, 2000) 공식, 사석방과제는 Hudson 공식을 이용하는 결정론적 방법으로 설계되어왔다. 최근, 결정론적 설계법의 문제점이 제시되면서 신뢰성 설계법에 대한 연구가 진행되어왔다. 이(1999)는 Level II, Level III 방법을 이용하여 경사제 피복재의 안정성에 대한 신뢰성 해석을 수행하였으며, 이(2000b,c)는 확률변수들을 정규화, 독립화시키는 복잡한 과정을 거치지 않고 경사제 피복재의 안정성에 대한 해석을 직접 수행할 수 있는 직접 계산법을 개발하였다. Suh *et al.*(2002)과 홍 등(2004)은 각각 Hanzawa *et al.*(1996) 및 Shimosako and Takahashi(1999)의 방법을 확장하여 파향의 변동성을 고려할 수 있는 신뢰성 설계 기법을 제안하였다. 김승우(2005), 김승우 등(2005, 2006)은 동해항 방과제를 대상으로 태풍 피해 발생 전과 후의 단면에 대한 신뢰성 해석을 실시하였다. Lee and Kwon(2009)은 불규칙파랑의 월파에 대한 신뢰성 해석 및 부분안전계수를 산정하고, 이(2010a)는 극치과고분포의 모수 불확실성에 따른 설계과고의 불확실성 및 피복재의 파괴확률을 해석하였고, 이(2010b)는 안전율을 이용한 직립 방과제의 활동에 대한 목표 파괴수준을 Monte-Carlo 모의기법을 이용하여 산정하였다. 허 등(2010a, 2010b)은 심층혼합처리지반에 설치된 안벽에 대하여 신뢰성해석을 실시하였다.

3. 신뢰성 설계기법의 수준 및 개념

불확실성의 존재 속에서 구조물의 설계 조건을 충족시키기란 쉽지 않다. 이러한 불확실성을 포함하고 있는 확률 변수 x 를 확률론적 특성(평균 μ_x , 표준편차 σ_x 등)을 이용하여 정량화할 수 있다. 기존의 설계법에서는 설계 변수의 변동성을 고려하지 않고 대표치(주로 평균 또는 특정기준에 해당하는 수치)만을 이용하여 설계에 반영하지만 신뢰성 이론에 근거한 설계법에서는 변수들의 확률론적 특성을 설계에 반영한다. 신뢰성 설계기법으로는 해석 수준에 따라 Level I, II, III 방법으로 나누어진다. Level I 기법은 부분안전계수법으로 임의의 파괴모드에 대하여 한계상태를 초과하는 파괴확률이 허용치 이하가 되도록 미리 결정된 각 확률변수의 부분안전계수(partial safety factors)를 이용하여 목표 신뢰도 지수(β_T)를 만족하는 설계변수를 결정하는 방법이다. Level II 기법은 확률변수의 평균과 표준편차를 고려하여 고차의 한계상태함수를 저차의 근사함수로 변형하여 신뢰지수와 파괴확률을 산정하는 방법이다. 고차의 한계상태함수를 근사함수로 변형하는 다양한 방법(Hasofer and Lind 방법, 1974; Rackwitz 방법 등)이 제안되고 있다. Level II 방법이 파괴확률의 근사치를 구하는 것이라면 Level III 방법은 확률변수의 확률적 특성을 따라

서 임의의 난수를 추출하고, 추출된 설계변수를 이용하여 MC 모의실험(Monte-Carlo simulation)으로 파괴확률을 계산하는 방법으로 Monte-Carlo 모의방법이라고도 한다.

4. GUI 환경 기반 신뢰성 설계프로그램의 개발 및 검증

4.1 GUI 기반 프로그램 개발

본 프로그램은 MATLAB 7.1 GUI(Graphical User Interface) 환경을 바탕으로 작성하였다. MATLAB 프로그램은 이미 많은 분야에서 자료를 보다 쉽게 분석할 수 있도록 그래프와 다양한 함수를 제공하는 수치해석프로그램으로써 정교한 그래프 체계를 구축할 수 있다. 또한 그래픽 사용자 접속기(GUI) 기능을 추가하여 표준형 사용자 접속기 제어를 포함하는 향상된 GUI 환경을 제공하며, 특히 고급 명령체계(script 환경)를 기반으로 저수준(기계어에 근접한) 언어를 사용하여 구성된 GUI 프로그램보다 시간 절약 및 다양한 기능을 추가할 수 있다. GUI 접속기의 개발은 HG(handle graphics, 그래픽도구 활용) 객체를 사용하여 GUI 성분객체들을 생성하고 그 성분들의 거동을 명령실행함수(callback 함수)로 정의하는 것이다. 본 연구에서 이용한 GUI 객체의 계층 구조 및 MATLAB 프로그램의 그래픽 제어 명령어 구분체계(Smith, 2008)는 Fig. 2에 제시하였다. 본 프로그램은 아래의 분류체계에 따른 그래픽 객체 하나하나에 Callback 함수가 정의되는 방식으로 구성되어 있기 때문에 전통적인 설계 과정을 따라 Callback 함수를 배열하는 구조로 되어있다.

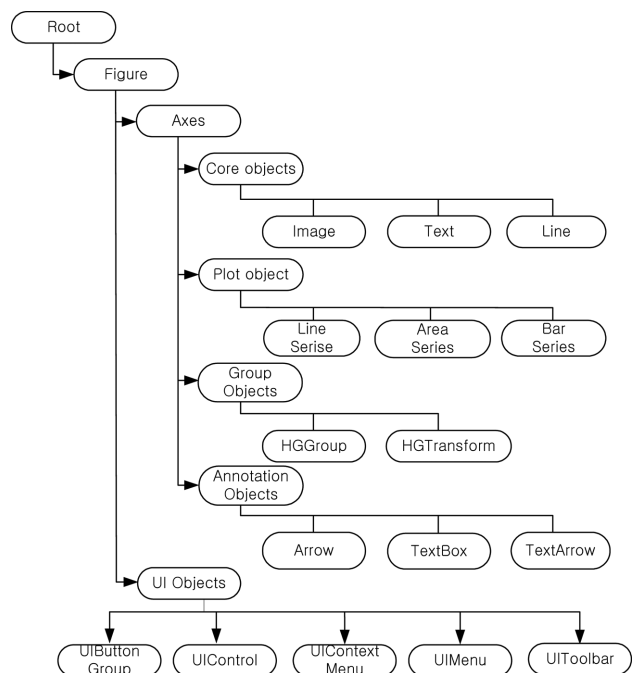


Fig. 2. Handle Graphic Object Hierarchy (UI : user interface).

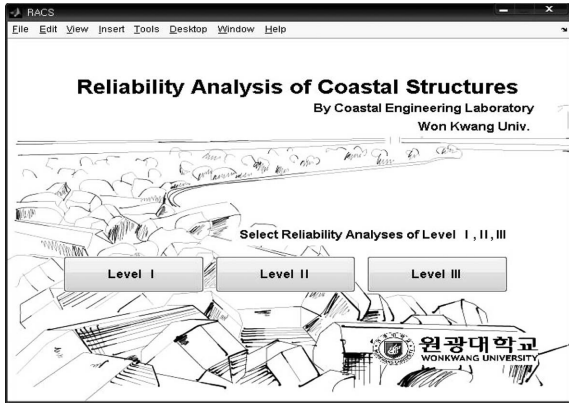


Fig. 3. Main Display of the Reliability-Based Design Program.

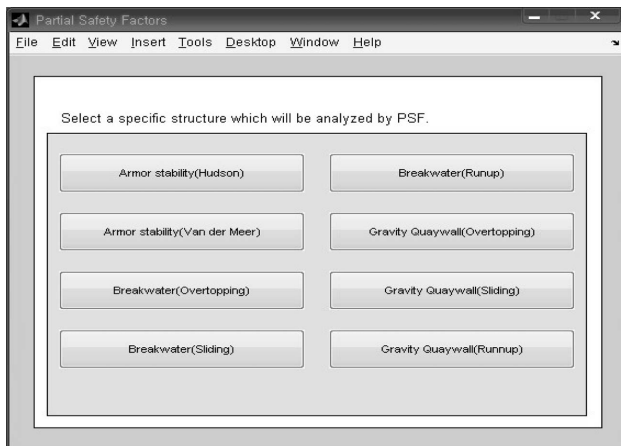


Fig. 4. Display Screen of the coastal structure choice step.

4.2 프로그램의 구조

본 프로그램은 신뢰성 설계의 모든 기법에 해당하는 Level I, II, III 방법을 모두 이용하여 설계가 가능하도록 구성하였다(Fig. 3 참조). Level I 기법은 부분안전계수법, Level II 기법은 대표적인 근사화 방법으로 이용되는 AFOSM 방법, Level III 기법은 Monte Carlo 모의방법에 근거하고 있다. Level 수준은 UIControl Object Group 영역에서 선택하여 GUI 환경에 접속할 수 있도록 구성하였다. 신뢰성 설계의 해석 수준을 선택하면, 신뢰성 설계를 수행하고자 하는 설계대상 해안·항만구조물을 선택하는 창이 생성된다(Fig. 4 참조).

4.3 신뢰성 설계 프로그램의 검증

본 연구에서는 GUI 기반 신뢰성 설계 프로그램의 검증을 위하여 국토해양부(2010b)에서 발간된 “중력식 안벽의 신뢰성 설계 표준서”의 중력식 안벽의 활동 파괴와 김 등(2009)에 발표된 국내 항만의 방파제 피복 블록의 파괴모드에 대한 설계결과를 이용하였다. 개발된 프로그램의 적용과정에서는 기본적인 프로그램 메인 화면 및 가시화 환경에서의 설계 수준(방법 등) 선택과정 및 설계인자 정보입력 환경과 가시화된 결과를 제시하였다. 입력프로그램 검증에 사용한 설계조건 입력변수 정보 및 기본적인 설계 인자 정보는 각각 다음과 같다(Table 1, Table 2 참조).

Table 1. Statistical information of the design parameters for break-water armor blocks

Design parameters	Mean	Standard deviation	Distribution type
A_H	1.0	0.18	Normal
D_n	2.59	0.130	Normal
Δ	1.233	0.047	Normal
$\cot\alpha$	1.5	0.1	Normal
H_s	$k = 1.676, \lambda = 4.975$		Gumbel

Table 2. Statistical information of the design parameters for gravity quay-wall sliding

Design parameters	Mean	Standard deviation	Distribution type
마찰계수(f_c)	0.636	0.0954	Normal
철근콘크리트(W_{rc})	57.82	1.1564	Normal
무근콘크리트(W_c)	179.52	3.5904	Normal
사석중량(W_s)	489.6	19.584	Normal
정적토압(E_{st})	113.2	11.32	Normal
잔류수위(H_R)	1.9365	0.19365	Normal

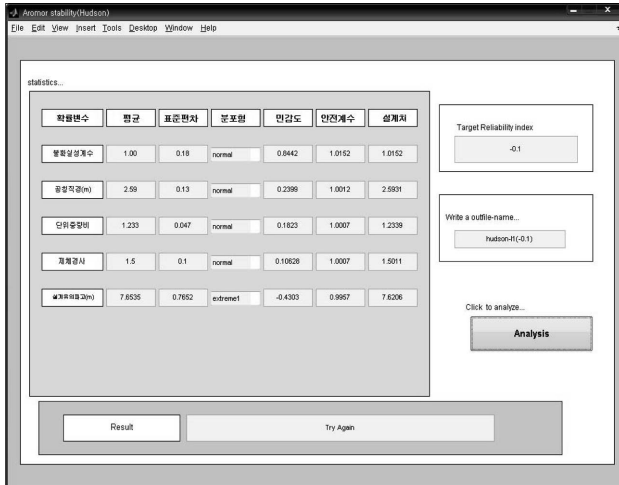
여기서 A_H 는 Hudson 공식 자체가 가지는 불확실성 계수, D_n 은 피복재의 공칭직경(m), $\Delta = \gamma_s/\gamma_w - 1$ 이며 γ_s 는 피복재의 단위중량(t/m^3), γ_w 는 해수의 단위중량(t/m^3), K_D 는 피복재의 종류, 피복층 두께 등에 의해 결정되는 안정 상수, $\cot\alpha$ 는 체체의 경사, H_s 는 설계유의파고(m)이다.

여기서 f_c 는 마찰계수, W_{rc} , W_c , W_s 는 철근콘크리트와 무근콘크리트, 사석 중량(t/m^3)이며 E_{st} 는 정적토압(t/m), H_R 는 체체배면 잔류수위(m)이다.

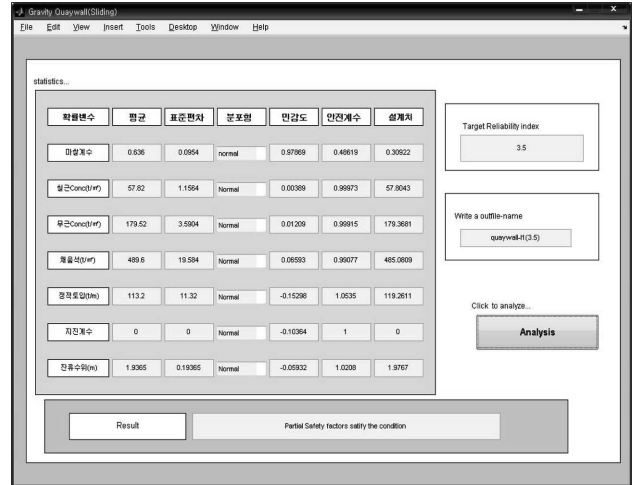
신뢰성 해석을 위한 설계변수의 통계적 특성은 Fig. 5~6과 같이 GUI환경의 입력창을 통해 입력할 수 있다. Level I은 설계 변수의 통계적 특성(평균, 표준편차, 분포형, 민감도)과 목표파괴확률을 입력하면 각 확률변수의 부분안전계수를 결정할 수 있다. Level II와 III의 경우, 확률변수의 통계적 특성(평균, 표준편차, 분포형)과 분포형에 따른 매개변수, 모의횟수를 입력하면 파괴확률과 신뢰도 지수를 결정할 수 있다(Fig. 5, Fig. 6 참조).

개발된 프로그램의 검증을 위하여 기수행된 설계인자 자료를 이용하여 신뢰성 해석을 수행하였다. Level I 기법의 수행을 통해 나타난 부분안전계수는 Table 3~4와 같이 구조물마다 목표 파괴확률에 따라 부분안전계수가 변하였음을 알 수 있으며, 목표파괴확률을 작게 할수록 저항요소들의 부분안전계수는 커지고 목표파괴확률을 크게 할수록 하중 요소의 값이 커짐을 알 수 있다. 또한 Table 3~4에 나타난 안정여부는 목표신뢰도 지수에 따른 구조물의 안정 여부(결정론적 설계에 따른 판단)를 나타낸 것으로서 설정된 목표 신뢰도 지수에 따라 안정여부를 만족하지 못할 경우 재설계가 필요함을 의미한다.

Level II 기법과 Level III 기법의 해석결과는 파괴확률, P_f 와 그에 상응하는 신뢰도 지수, β 로 나타내었으며, 반복횟수에



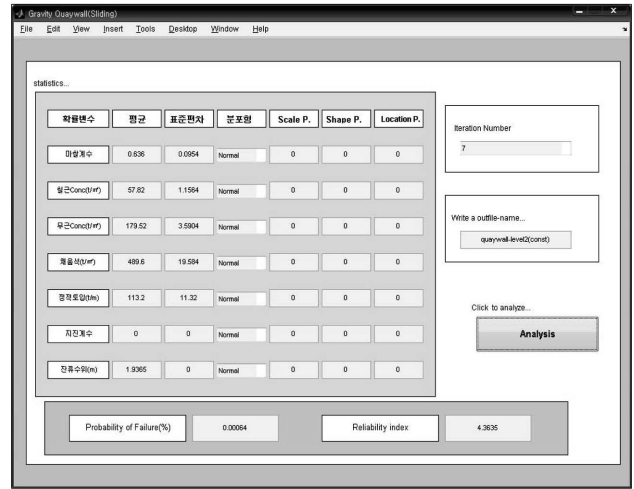
Level I



Level I



Level II



Level II



Level III



Level III

Fig. 5. The Worksheet on armor blocks (Hudson).

Fig. 6. The Worksheet on gravity quaywall sliding.

따른 대상 구조물의 설계결과 변화(수렴 파악)는 Fig. 7와 Fig. 8에 도시하였다. Hudson 공식을 사용하여 방파제의 피복블록에 대한 신뢰성 해석의 수행 결과, Level II 기법의 파괴확률은 55.43%($\beta = -0.137$)로 나타났고, Level III 기법의 파괴확률은 55.30%($\beta = -0.133$)로 나타났다. 반면, 중력식 안벽의 활동 파괴 모드(평상시)의 경우, Level II 기법의 파괴

확률은 $6.6 \cdot 10^{-4}$ %($\beta = 4.357$)로 나타났고, Level III 기법의 파괴확률은 $6.0 \cdot 10^{-4}$ %($\beta = 4.378$)로 나타났다(Table 5).

개발된 모델의 신뢰수준 파악을 위하여 신뢰성 설계 프로그램의 Level II, Level III 방법을 이용하여 산정한 결과 방파제 피복블럭과 중력식 안벽의 활동모드 파괴확률은 각각 55.4~55.7%, 0.0006~0.0007% 범위로 파악되었다. 기존의 설

Table 3. Partial Safety Factors on random variables of armor blocks

목표신뢰도 지수 (β_T)	부분안전계수					안정여부
	A_H	D_n	Δ	$\cot\alpha$	H_s	
-0.1	1.015	1.001	1.000	1.000	0.995	×
-0.5	1.076	1.006	1.003	1.003	0.978	○
-1.0	1.152	1.012	1.006	1.007	0.957	○
-2.0	1.455	1.036	1.021	1.021	0.871	○

Table 4. Partial Safety Factors on random variables of gravity quay-wall sliding

목표신뢰도 지수 (β_T)	부분안전계수						안정여부
	f_c	W_{rc}	W_c	W_f	E_{sl}	H_R	
3.5	0.486	0.999	0.999	0.991	1.053	1.021	○
4.0	0.413	0.999	0.999	0.989	1.061	1.023	○
4.5	0.339	0.999	0.998	0.988	1.069	1.027	×

계결과에 따른 파괴확률은 피복블럭의 경우 55.6%, 중력식 안벽의 경우 0.0018% 정도로, 정확한 설계인자가 가용한 피복블럭은 본 프로그램을 이용한 경우와 정확하게 일치하고 있으나, 설계인자 정보가 부족한 중력식 안벽의 경우에는 동일

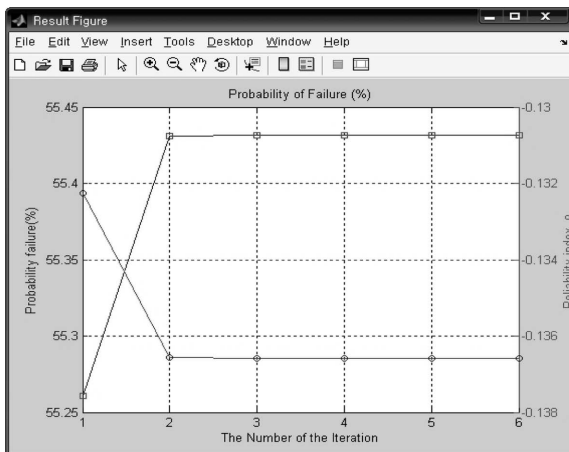
Table 5. Comparison of the probability of failures and reliability indexes

해석 수준	해석 방법	Level II		Level III	
		P_f (%)	β	(%)	β
피복블럭	김 등(2009)	55.6	-0.1408	-	-
	GUI 프로그램	55.4	-0.1365	55.7	-0.1433
중력식 안벽	국토해양부 (2010b)	$1.80 \cdot 10^{-3}$	4.132	$1.79 \cdot 10^{-3}$	4.133
	GUI 프로그램	$6.59 \cdot 10^{-4}$	4.357	$6.00 \cdot 10^{-4}$	4.377

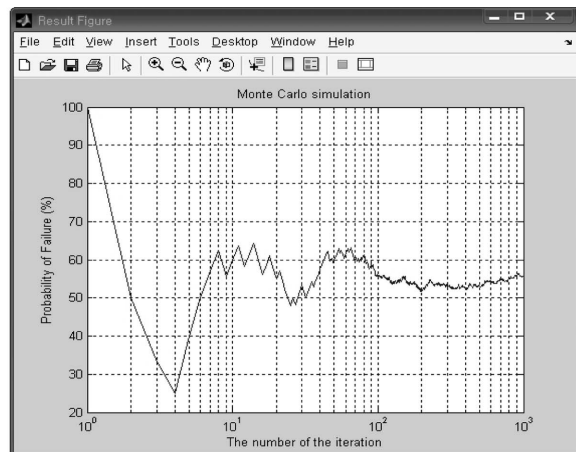
한 설계 인자의 입력이 제약된 차이로 인하여 활동모드 파괴 확률이 차이를 보이고 있다. 그러나 파괴확률 정도는 일치하고 있기 때문에 구조물의 중요도에 따른 목표파괴확률 기준 설정을 위한 자료로는 활용 가능하다고 판단된다.

5. 결 론

사용자가 쉽게 접근하고, GUI 환경에서 사용하기 편리한 해안구조물의 신뢰성 해석 프로그램을 개발하였으며, 개발된 모델의 신뢰수준 파악을 위하여 신뢰성 설계 프로그램의

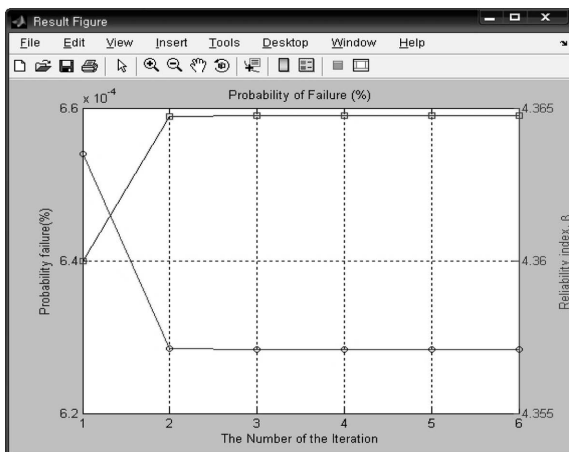


Level II

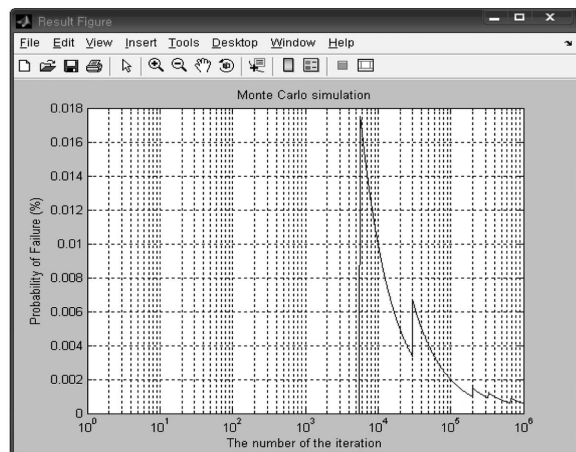


Level III

Fig. 7. Reliability index and Probability of failure on breakwater armor blocks.



Level II



Level III

Fig. 8. Reliability index and Probability of failure on gravity quay-wall.

Level II, Level III 방법을 이용하여 산정한 결과 방파제 피복블럭과 증력식 안벽의 활동모드 파괴확률은 각각 55.4~55.7%, 0.0006~0.0007% 범위로 파악되었다. 기존의 설계결과에 따른 파괴확률은 정확한 설계인자가 가용한 피복 블럭의 경우 본 프로그램을 이용한 경우와 정확하게 일치하고 있으나, 증력식 안벽의 경우에는 동일한 설계 인자의 통계적 특성을 가정하였기 때문에 기 수행 된 활동모드 파괴확률과 차이를 보이고 있으나 정도(Order)는 일치하고 있기 때문에 목표파괴확률 기준설정을 위한 자료로는 활용가능하다고 판단된다.

향후 결과 오차를 최소화하기 위하여 명령실행함수(callback 함수)의 프로그래밍과정 등 프로그램의 개선(보완)이 필요하며, 다양한 항만 구조물에 대하여 GUI 환경에서 신뢰성 설계를 수행할 수 있도록 다양한 구조물을 추가 할 필요가 있다. 또한 한계상태함수 수립 및 다양한 기능을 내재한 도구 개발도 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 및 한국해양과학기술진흥원 지원과제인 “항만구조물 신뢰성 설계법 개발”사업과 한국해양과학기술진흥원 지원과제인 “해양에너지 전문인력 양성사업”의 일환으로 수행되었습니다. 연구비지원에 감사드립니다.

참고문헌

국토해양부 (2010a). 방파제 신뢰성 설계 표준서(안) - 경사식·케이슨식-
 국토해양부 (2010b). 안벽 신뢰성 설계 표준서(안) - 증력식·잔교식-
 김승우 (2005). 동해항 방파제를 대상으로 한 신뢰성 설계법의 비교연구. 서울대학교 대학원 지구환경시스템공학부 공학석사학위논문, 서울대학교, 1-148.
 김승우, 서경덕, 오영민 (2005). 동해항 방파제를 대상으로 한 신뢰성 설계법의 비교 연구. 1. 피복 블럭의 안정성. 한국해양안·해양공학회지, 17(5), 498-509.
 김승우, 서경덕, 오영민 (2006). 동해항 방파제를 대상으로 한 신뢰성 설계법의 비교 연구. 2. 케이슨의 활동. 한국해양안·해양공학회지, 18(2), 137-146.
 윤길림, 김동현, 김홍연 (2008). 안벽구조물의 신뢰성 해석, 한국해양안·해양공학회지, 20(5), 498-509.
 이철웅 (1999). 경사제 피복재의 안정성에 대한 신뢰성 해석. 한국해양안·해양공학회지, 11(3), 165-172.
 이철웅 (2000a). 경사제 피복재의 신뢰성 해석을 위한 직접 계산법의 개발. 대한토목학회논문집, 20(3-B), 387-397.
 이철웅 (2000b). 직접 계산법에 의한 경사제 피복재의 신뢰성 해석. 대한토목학회논문집, 20(3-B), 399-409.
 이철웅 (2007). 신뢰성 설계법의 개요, 제1회 항만구조물 신뢰성 설계법 기술교육 workshop, 3-24.
 이철웅 (2010a). 극치파고분포의 모수 불확실성에 따른 설계과고의 불확실성 및 피복재의 파괴확률 해석. 한국해양안·해양공

학회지, 22(2), 120-125.
 이철웅 (2010b). 안전율을 이용한 직립 방파제의 활동에 대한 목표파괴수준 산정. 한국해양안·해양공학회지, 22(2), 112-119.
 임중수 (2006). MATLAB GUI Power, 아진.
 허정원, 박옥주, 김영상, 허동수 (2010a). 심층혼합처리지반에 설치된 안벽의 신뢰성해석(Part: 개량지반의 외부안정). 한국해양안·해양공학회지, 22(2), 79-87.
 허정원, 박옥주, 김영상, 허동수 (2010b). 심층혼합처리지반에 설치된 안벽의 신뢰성해석(Part : 개량지반의 내부안정). 한국해양안·해양공학회지, 22(2), 88-94.
 홍수영, 서경덕, 권혁민 (2004). 파향의 변동성을 고려한 직립 방파제 콘크리트 케이슨의 기대활동량 산정. 16(1), 27-38.
 해양수산부 (2001). 차세대 항만 설계기술 개발(I).
 해양수산부 (2002). 차세대 항만 설계기술 개발(II).
 해양수산부 (2003). 차세대 항만 설계기술 개발(III).
 해양수산부 (2004). 차세대 항만 설계기술 개발(IV).
 해양수산부 (2005). 차세대 항만 설계기술 개발.
 The MathWorks (2006). MATLAB for Building Graphical User Interfaces, The MathWorks, Training Services.
 Haldar, A. and Mahadevan, S. (2000a). Probability, Reliability and Statistical Methods in Engineering Design. John Wiley & Sons.
 Haldar, A. and Mahadevan, S. (2000b). Reliability Assessment Using Stochastic Finite Element Analysis. John Wiley & Sons.
 Nowak, A.S. and Collins, K.R. (2000). Reliability of Structures, Mc Graw Hill.
 Smith, S.T. (2008). MATLAB Advanced GUI Development.
 Ang, A. H-S and Tang, W.H. (2007). Probability concepts in engineering Emphasis on applications to civil and environmental engineering, John Wiley & Sons, Inc, 199-242.
 van der Meer, J.W. (1988). Deterministic and probabilistic design of breakwater armor layers. J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, 114(1), 66-80.
 Burcharth, H.F. (1992a). Reliability Evaluation of a Structure at Sea. Proc. Short Course on Design and Reliability of Coastal Structures, Proc. 23rd Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, Venice, 597-644.
 Burcharth, H.F. (1992b). Introduction of partial coefficient in the design of rubble mound breakwaters, Proc. Conf. Coastal Struct. Breakwaters, Institution of Civil Engineers, London, 543-565.
 Burcharth, H.F. and Sorenson, J.D. (1998). Design of Vertical Wall Caisson Breakwaters Using Partial Safety Factors. Coastal Engineering, 12, 2138-2151.
 Burcharth, H.F. and Sorenson, J.D. (1999). The PIANC Safety Factor System for Breakwaters. Coastal Structures '99, Balkema, Rotterdam, 1125-1144.
 The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (2009). Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan.
 Goda, Y. (1974). A new wave pressure formulae for composite breakwater, Proc. 14th Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, Copenhagen, 1702-1720.
 Goda, Y. (2000). Random seas and design of maritime structures, World Scientific.
 Lee, C.-E. and Kwon, H.J. (2009). Reliability analysis and evalu-

- ation of partial safety factors for random wave overtopping. *KSCE J. of Civil Engineering*, 13(1), 7-14.
- Suh, K.D., Kweon, H.-M. and Yoon, H.D. (2002). Reliability design of breakwater armor blocks considering wave direction in computation of wave transformation. *Coastal Eng. J.*, 44(4), 321-341.
- Hanzawa, M., Sato, H., Takahashi, S., Shimosako, K., Takayama, T. and Tanimoto, K. (1996). New stability formula for wave-dissipating concrete blocks covering horizontally composite breakwaters. *Proc. 25th Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, Orlando*, 1665-1678.
- Shimosako, K. and Takahashi, S. (1999). Application of deformation-based reliability design for coastal structures. *Proc. Int. Conf. Coastal Struct., 1999, A.A. Balkema, Spain*, 363-371.
- Melby, J.A. and Mlakar, P.F. (1997). Reliability assessment of breakwaters, TR CHL-97-9, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
-
- 원고접수일: 2010년 11월 3일
수정본채택: 2010년 12월 17일
게재확정일: 2010년 12월 17일