

블럭식 보강토 옹벽 설계/해석 자동화 프로그램 개발

Development of A Design/Analysis Program for Reinforced Segmental Retaining Walls

유 충 식¹⁾, Chungsik Yoo, 신 현 강²⁾, Hyun-Kang Shin

¹⁾성균관대학교 토목공학과 부교수, Assoc. Prof., Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan University

²⁾성균관대학교 토목공학과 석사과정, Grad. Student, Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan University

SYNOPSIS : This paper describes the development of an automated design/analysis program for geosynthetics-reinforced segmental retaining walls. The developed program consists several modules and these modules are graphic-user-interfaced for ease in implementing the program. For the purpose of validating the developed program, the results of design for a case were compared with the available commercial program and the results of finite element analysis. Comparison indicated that the results of the developed program compare fairly well with those from the most of the available program and the finite element analysis. Therefore, it can be concluded that the developed program can be effectively used for design/analysis of geosynthetics-reinforced segmental retaining walls.

KEYWORDS : Reinforced earth, Segmental retaining wall, Geogrid, Finite element analysis

1. 서론

보강토 옹벽의 기원은 기원전 바빌로니아인에 의하여 축조된 Ziggurats 사원탑으로 거슬러 올라가며 공학적 의미에서의 보강토 옹벽의 개념은 1966년 Henry Vidal이 프랑스에서 Terre Armee 라는 이름으로 특허를 받은 이래로 근대식 보강토 옹벽의 형태로 발전되어왔다. 보강토 옹벽의 일종인 지오그리드를 이용한 블럭식 보강토 옹벽은 1990년대 초 국내에 소개된 이래로 기존의 중력식 혹은 캔틸레버식 옹벽에 비해 우수한 시공성 및 경제성을 토대로 사용물량이 꾸준히 증가하는 추세이며, 구조적으로 유연하다는 특성을 지니고 있어 기초지반이 불량하거나 지진 활동 지역에서 적용성이 뛰어난 것으로 알려져 있다.

블럭식 보강토 옹벽의 설계/해석에서는 한계평형해석에 근거하여 대상 옹벽의 내적안정성(internal stability), 외적안정성(external stability), 그리고 국부적 안정성(local stability) 확보 여부를 검토하여 보강조건을 결정한다. 현재, 실무에서는 일반적으로 지오그리드 혹은 블록 제작 업체에서 제공하는 설계 프로그램을 적용하고 있는 실정으로서 이들의 프로그램에 대한 검증이 필요한 실정이며, 국내 실정이 감안된 독자적인 프로그램의 개발의 필요성이 증가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 보강토 옹벽 공법의 요소기술을 확보하고 독자적인 프로그램을 개발하기 위해 블럭식 보강토 옹벽의 설계를 위한 설계자동화 프로그램 REwall(Reinforced Earth Wall)을 개발하였으며, 개발된 프로그램은 기존의 상용프로그램 및 유한요소해석 결과와의 비교를 통해 객관성을 확보하였다.

2. 블럭식 보강토 옹벽의 설계/해석

2.1 파괴유형

보강토 옹벽의 설계/해석법은 한계평형해석법에 근거하며, 그림 1에 제시된 파괴유형을 토대로 내·외적 및 국부적, 그리고 전체적 안정성을 검토한다. 외적 안정성은 블럭벽체, 보강재, 그리고 뒤채움흙으로 형성되는 보강토체의 중력식 구조체로서 작용 여부에 좌우되며, 외적 안정성이 확보되지 않을 경우 저부활동(그림 1a), 전도(그림 1b), 그리고 지지력(그림 1c) 파괴가 발생한다. 또한, 내적 안정성은 보강재와 뒤채움흙이 일체의 구조로 적절히 작용할 경우 확보되며, 내적 불안정은 보강재의 인장파단(그림 1d) 및 인발파괴(그림 1e), 내부활동파괴(그림 1f)로 이어질 수 있다.

한편, 블럭식 보강토 옹벽은 개별 블럭으로 벽체가 형성되므로 벽체의 국부적 안정성이 중요한 검토 사항으로 간주되며, 연결부 파괴(그림 1g), 배부름(그림 1h), 그리고 상부전도(그림 1i)와 같은 파괴유형을 토대로 국부적 안정성을 검토한다. 아울러서 보강토체와 기존 지반의 전체적인 움직임에 의한 사면 파괴유형을 전체적 안정성 파괴(그림 1j)라고 하며, 이러한 파괴 유형은 연약한 기초지반, 지하수위 상승, 과도한 외부하중의 작용 등에 기인한다.

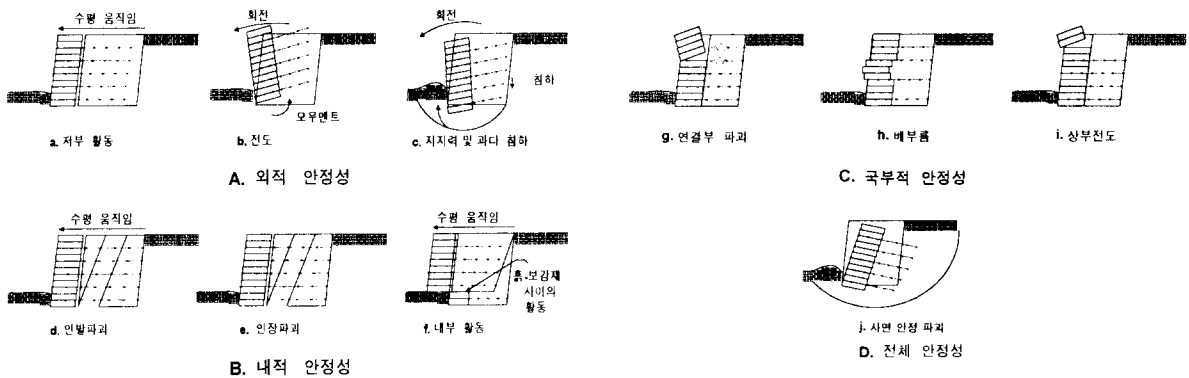


그림 1. 블럭식 보강토 옹벽의 파괴 유형

2.2 설계/해석법

2.2.1 개요

보강토 옹벽 공법이 발전해온 이래로 많은 설계법이 제시되었으며, 이를 토대로 영국의 BS 8006, 미국 FHWA 설계지침 및 AASHTO 도로교 시방서, 그리고 북미 콘크리트 석조협회(이하 NCMA) 설계기준 등 많은 기관에서 나름대로의 설계기준을 제시하고 있다. 전술한 설계기준 중 BS 8006, FHWA, AASHTO 설계기준은 보강토 옹벽의 일반적인 설계기준으로서 개별 블럭으로 형성되는 블럭 벽체의 국부적 안정성을 고려하지 않고 있으며, NCMA 설계기준만이 블럭벽체의 국부적 안정성을 고려하여 보강조건을 설정하도록 되어 있다.

2.2.2 외적 안정성 검토

외적 안정성 검토에서는 블록과 보강토체를 일체의 구조체로 간주하고 보강토 배면에 작용하는 토압으로서 Rankine 또는 Coulomb 토압을 적용하여 옹벽의 일반적인 파괴형태에 대한 안정성을 검토하며, 이 과정에서 보강재의 최소길이(L)가 결정된다.

1) 저부활동(Base Sliding)

보강토체와 기초지반사이의 불충분한 전단저항으로 발생할 수 있는 보강토체의 전방 활동 가능성에 대한 검토를 수행한다.

2) 전도 (Overturning)

과다한 수평 토압으로 인해 발생할 수 있는 옹벽 앞부리(toe)에 대한 보강토체의 회전 가능성에 대한 검토를 수행한다.

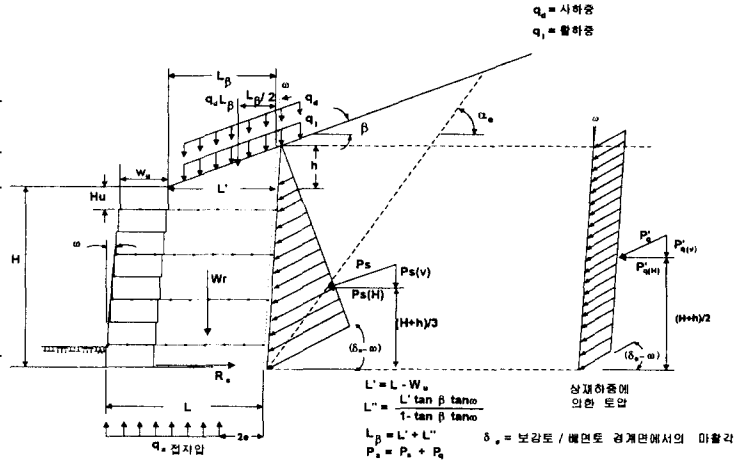


그림 2. 외적 안정성 검토시 작용 토압

3) 지지력(Bearing Capacity)

과다한 기초압력으로 인해 발생하는 기초지반의 전단 파괴 또는 과도한 침하 발생 여부를 알은 기초의 지지력 개념으로 검토한다.

2.2.3 내적 안정성 검토

내적 안정성 검토에서는 보강재, 뒤채움흙, 그리고 블럭으로 구성된 보강토체가 일체의 구조체로서 작용하는지의 여부를 검토한다. 즉 그림 3과 같이 벽체 배면의 Rankine 또는 Coulomb 주동토압을 외력으로 하여 보강재의 인장과단, 인발저항, 그리고 내부활동파괴에 대한 검토를 수행하고 이 과정에서 보강재의 수, 강도, 그리고 연직 포설간격 등을 결정한다. 일반적으로 옹벽 상단부의 보강재는 충분한 인발저항력을 발휘할 수 있도록 연장되는데, 앞서 언급한 바와 같이 이러한 경우에도 보강토체의 크기에는 영향을 주지 않는 것으로 가정한다. 보강재의 포설 위치선정은 일반적으로 시행착오법으로 수행되며, 벽체하단부로 갈수록 토압이 증가하므로 옹벽이 높은 경우에는(6.0m 이상) 상·하단 구간으로 구분하여 하단부에서의 포설간격을 줄이는 것이 경제적이다. 내적 안정성 검토 방법에 따라 Tie-back wedge 법과 Coherent Gravity 법으로 구분되며, 일반적으로 토목섬유(Geosynthetics)와 같은 신장성 보강재에는 Tie-back wedge 법이 적용되며, 강격자(steel grid)와 같은 비신장성 보강재에는 Coherent Gravity 법이 적용된다. 그림 4에서는 Tie-back wedge 법을 이용한 가상 파괴면을 보여주고 있으며, 이러한 파괴유형을 토대로 보강재의 정착길이 및 인발저항력을 계산한다.

본 연구에서 검토한 내용은 다음과 같다.

1) 인장과단(Tensile Overstress)에 대한 검토

보강재에 유발된 인장력(F_g)은 보강재의 허용인장강도(T_a)를 초과하지 않도록 보강재의 종류를 선정하여야 한다.

$$F_{g(n)} \leq T_{a(n)}$$

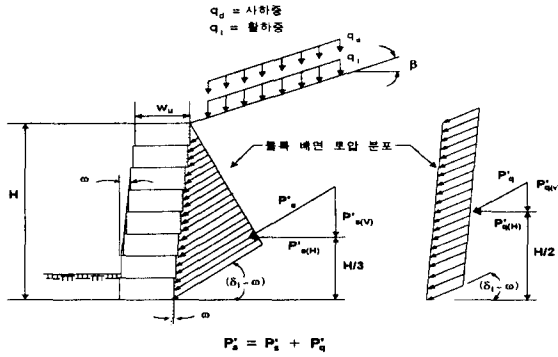


그림 3 내적 안정성 검토시 작용 토압

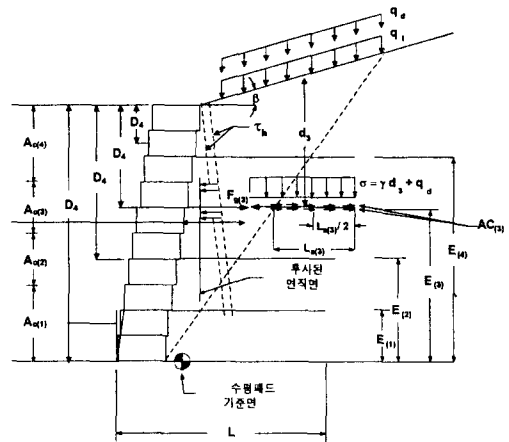


그림 4. 내적안정성 검토시 외력 및 기하조건

2) 인발저항력(Pullout Capacity)에 대한 검토

보강재에 유발된 인장력 $F_{g(n)}$ 은 그림 4에서 보이는 바와 같이 파괴면 외부에 정착되어 있는 보강재의 인발저항력을 통해 주동영역 외부 흙에 전달되어야 한다. 보강재가 보유하고 있는 인발저항력 AC_n 과 $F_{g(n)}$ 인장력의 비를 인발파괴에 대한 안전을 FS_{po} 로 간주하며, 인발파괴에 대한 안전율은 아래와 같이 표현된다.

$$FS_{po} = \frac{AC_n}{F_{g(n)}}$$

3) 내부 활동(Internal Sliding)에 대한 검토

각 보강재 표면을 따라 발생할 수 있는 내부활동파괴 가능성에 대한 검토가 수행되어야 한다. 이러한 유형의 파괴 가능성은 보강재와 뒤채움흙 사이의 전단저항이 감소할수록 증가한다.

2.2.4 국부적 안정성 검토

개별 블록을 사용하는 블럭식 보강토 옹벽공법에서는 블록으로 이루어진 벽체가 과도한 국부적 변형없이 일체의 구조를 형성하는지의 여부를 검토하여야 한다. 국부적 안정성이 확보되기 위해서는 블럭과 보강재 연결부에서의 파단이 발생하지 않도록 블럭과 보강재 연결부가 충분한 강성 및 강도를 보유하여야 한다. 또한 블럭에 유발되는 토압이 블럭 접촉면의 전단저항력을 초과할 경우 국부적 배부름(bulging) 현상이 발생하므로 보강재의 포설간격을 조절하여 작용 토압이 블럭 접촉면의 전단저항력을 초과하지 않도록 하여야 한다

1) 블럭과 보강재의 연결(Facing Connection)

블럭 및 보강재의 연결부에서의 파단 또는 활동 파괴를 방지하기 위해 블럭과 보강재의 연결부는 충분한 연결강도를 보유하여야 하며, 따라서 연결강도를 고려하여 보강재의 포설 간격을 설정하여야 한다. 연결강도는 아래 식과 같이 극한 연결강도를 바탕으로 평가된다.

$$T_{c(n)} = \frac{T_{ultcon(n)}}{FS_{cs}} \leq T_{a(n)}$$

여기서: $T_{c(n)}$ = 장기 허용 연결강도

$$T_{ultcon(n)} = \text{NCMA 시험법에 의한 극한 연결강도}$$

$$FS_{cs} = \text{연결부 파괴에 대한 안전율, 일반적으로 1.5}$$

2) 블럭의 국부적 배부름(Bulging)

블럭식 보강토 옹벽의 국부적 배부름 현상은 포설된 보강재 상·하부 블럭에 작용하는 토압이 블럭 사이의 전단저항력을 초과할 경우 발생된다. 따라서 배부름 현상에 대한 저항 정도는 작용토압의 크기, 보강재의 연직간격, 그리고 블럭간의 전단 저항력에 의해 좌우된다.

3) 최대 비보강 벽체 높이(Maximum Unreinforced Height)

최상단 보강재위에 위치한 블럭에 대해서는 보강되지 않은 부분을 중력식 옹벽으로 간주하고 이에 대한 활동 및 전도에 대한 검토가 필요하다. NCMA design manual에 제시된 방법으로 계산된 안전율이 표 1에 제시된 최소안전율 이하일 경우에는 보강재를 추가하거나 포설 보강재의 연직간격을 조절하여 비보강 블럭의 높이를 감소시켜야 한다.

2.2.5 최소 안전율

설계시 적용하는 최소안전율은 설계 정수의 신뢰도와 옹벽의 붕괴로 인한 피해 등을 종합적으로 고려하여 결정하여야 한다. 표 1은 NCMA에서 제안한 블럭식 보강토 옹벽 설계시 적용하는 최소 안전율을 보여주고 있다.

표 1. 최소 안전율

파괴유형		안전율
외적 안정성	저면활동	1.5
	전도	2.0
	지지력	2.0
내적 안정성	인장파단	1.0
	인발파괴	1.5
국부적 안정성	블록 전단저항	1.5
	연결	1.5

3. REwall 프로그램

3.1 개요

본 연구에서 개발된 REwall은 블럭식 보강토 옹벽의 설계 및 해석에 적용할 수 있는 프로그램으로서 효율성 및 객관성을 확보하기 위해 그래픽 처리 기능이 매우 우수한 Visual Basic을 이용하여 작성하였으며 GUI(Graphic User Interface)기능을 극대화 시켜 사용자의 편의성을 도모하였다. 한편, REwall에서는 NCMA 설계기준을 적용하였으며, Window 환경에서 마우스를 이용하여 각 메뉴간의 상호작용을 연결하는 통합 설계 시스템으로의 개발을 시도하였다.

3.2 시스템 개발환경

본 연구에서는 프로그램의 개발을 위해서 Window 95 운영체제를 기반으로 GUI (Graphic User Interface) 기능을 극대화시킨 Visual Basic 언어를 기본 개발 도구로 사용하였으며, 프로그램 개발에 사용된 하드웨어 및 소프트웨어의 사양은 다음과 같다.

- Hardware : Micro Processor 486 DX 이상, RAM 16MB 이상
- Operating System : Window 95이상
- 개발환경 : Visual Basic

3.3 시스템의 구성

REwall은 데이터일람 모듈, 블록 모듈, 보강재 모듈, 용벽 모듈, 보강재 포설 모듈, 결과 모듈 등 다양한 모듈로 구성되어 있으며, 각 모듈의 연결은 Visual Basic의 기능을 이용하여 유기적으로 연결되도록 하였다. 그림 5는 REwall의 구성을 나타내고 있다.

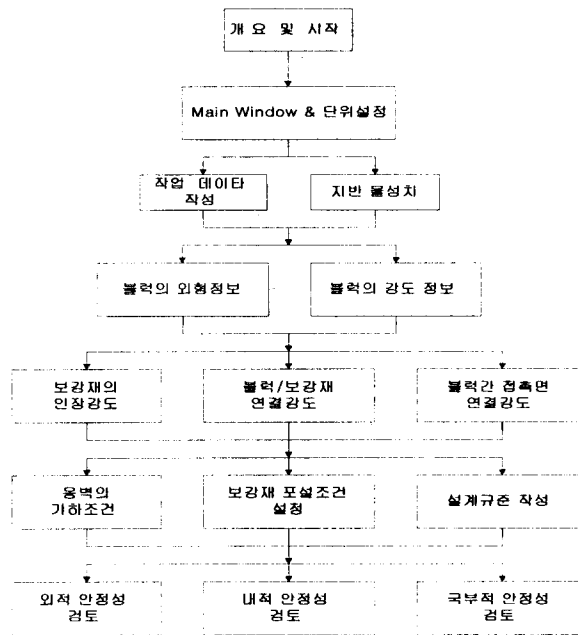


그림 5. REwall 프로그램의 구성

각 모듈의 세부수행 내용은 다음과 같다.

(1) 주 윈도우 & 단위설정 모듈

본 모듈은 보강토 용벽의 해석 및 설계를 위한 주 윈도우화면으로서 메뉴 및 단위설정 옵션으로 구성되어 있다.

(2) 데이터 일람 모듈

데이터 일람 모듈에서는 작업명과 사용자명, 주요특성등에 대한 입력이 이루어지며, 해석에 적용될 지반(보강토, 배면토, 기초지반, 수평패드)의 역학적 특성을 입력하도록 되어 있다.

(3) 블럭특성 모듈

본 모듈은 블럭의 정보 및 블럭의 접촉면 전단특성에 대한 모듈로서 블럭제원 및 setback, 그리고 블럭접촉면 전단특성을 입력한다(그림 6).

(4) 보강재 종류 및 특성 모듈

그림 7에서는 보강재 종류 및 특성 모듈을 보여주고 있는데 보이는 바와 같이 보강재의 선택 및 역학적 특성치에 대한 입력이 이루어지며, 블럭/보강재 연결강도 및 블럭접촉면 전단특성 등을 입력할 수 있도록 구성되어 있다.

(5) 옹벽의 기하조건과 보강재 포설조건 및 설계기준 모듈

본 모듈에서는 그림 8에 나타난 바와 같이 옹벽의 기하조건 및 보강재의 포설조건, 그리고 설계기준 설정의 작업이 이루어진다. 한편, 옹벽의 기하조건에 대한 옵션에서는 하중의 유무, 옹벽의 근입깊이, 옹벽의 총 높이 등이 입력되어지며, 보강재의 포설조건 설정 옵션에서는 보강재의 포설을 사용자가 직접 하거나, 혹은 최소 입력으로 프로그램이 자동적으로 보강재의 포설조건을 설정하는 두 가지 옵션이 제공된다. 또한 설계기준옵션에서는 각종 안정성 검토에 대한 안전율 및 제한치를 입력하도록 하여 계산 후 결과에 대해 객관적 평가가 가능할 수 있도록 구성하였다.

(6) 결과모듈

결과모듈에서는 그림 9에서와 같이 블럭식 보강토 옹벽에 대한 안정성 검토 결과가 크게 외적 및 내적, 국부적 안정성 검토로 구분되어 테이블 형식으로 출력되도록 구성되었으며, 포설조건에 대한 그래픽처리가 가능하도록 구성되어 있다.

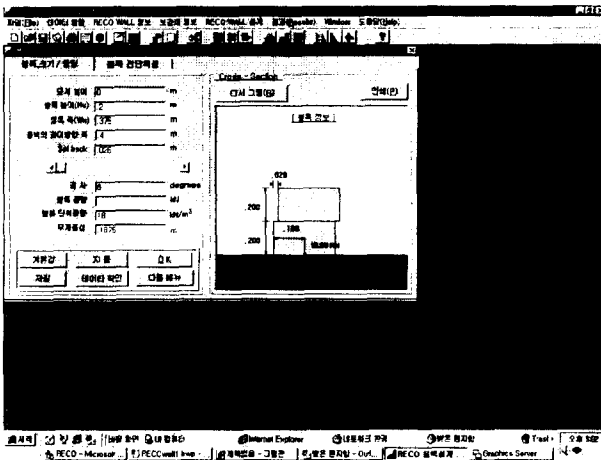


그림 6. 블록특성 모듈

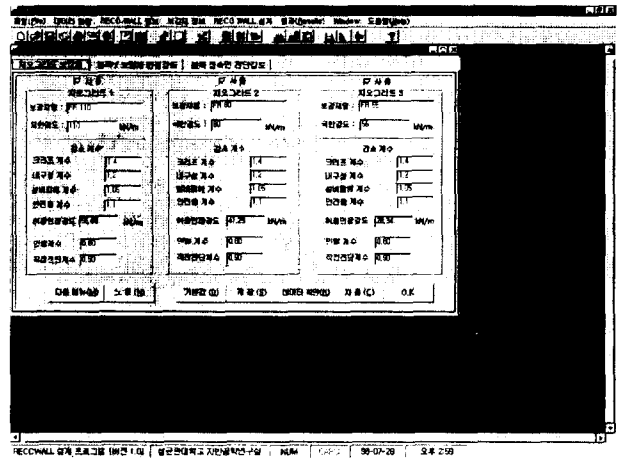


그림 7. 보강재 모듈

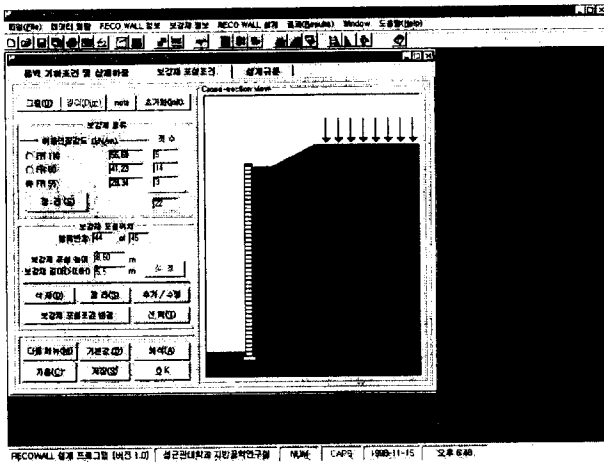


그림 8. 옹벽 조건 및 보강재 포설 모델

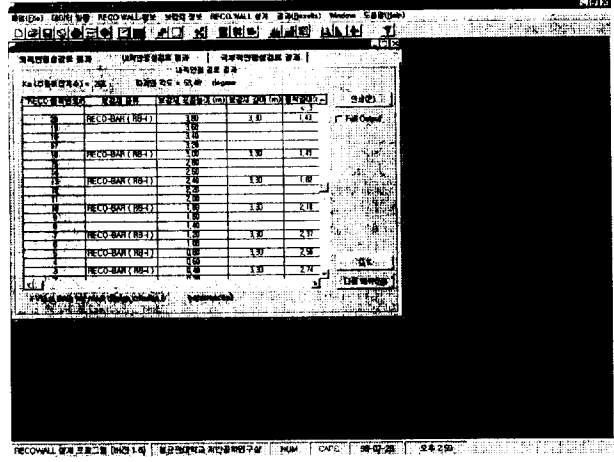


그림 9. 결과 모듈

4. REWall 프로그램 적용

4.1 개요

본 연구에서는 REWall의 적용성을 검토하기 위해 가상의 조건에 적용하고 그 결과를 기존의 사용프로그램 및 유한요소해석 결과를 통해 타당성을 검토하였다.

4.2 대상 옹벽

본 연구에서는 매우 견고한 지반에 시공되는 노출높이 6 m(근입깊이 0.2m 제외)의 블럭식 보강토 옹벽을 고려하였다. 옹벽의 블럭벽체는 높이 20cm, 폭 40cm, 깊이 40cm의 블록으로 setback 없이 형성되며, 배수성이 우수한 양질의 사질토가 뒤채움흙으로 사용되고 길이 L/H=0.7, 허용인장력 $T_a = 30 \text{ kN/m}$ 의 보강재가 등간격 ($S_0=0.6 \text{ m}$)으로 포설되는 것으로 가정하였다. 그림 10은 본 연구에서 고려한 옹벽의 개요도를 보여주고 있다.

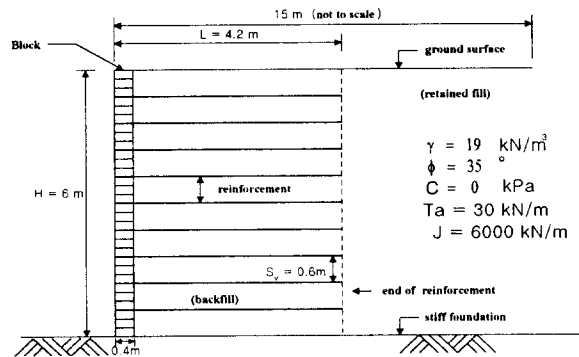


그림 10. 해석 대상 옹벽의 개요도

4.3 유한요소해석

본 연구에서는 개발된 REWall을 이용한 해석결과의 비교를 위해 대상 옹벽에 대한 유한요소해석을 수행하여 그 결과를 정성·정량으로 분석하였다. 그림 11은 해석에 적용된 유한요소망을 보여주

고 있으며, 보이는 바와 같이 해석대상 영역의 이산화 과정에서의 오차를 극소화하기 위해 약 4200개의 절점과 1700개의 요소로 구성된 매우 조밀한 유한요소망을 사용하였다. 해석 모델링에서는 대상 옹벽이 매우 견고한 지반에 시공되는 경우를 고려하였으므로 기초지반은 모델링에 포함시키지 않았으며, 블럭 전면에서 수평방향으로 벽체 높이(H)의 약 3배에 해당되는 영역을 뒤채움 영역으로 모델링하였다.

해석에 있어서 블럭과 뒤채움흙은 8절점 평면요소보강재/뒤채움흙, 를 이용하여, 그리고 보강재는 3절점 봉요소를 이용하여 모델링하였다. 한편, 블럭/뒤채움흙, 뒤채움흙/기초지반 사이의 상호면 거동은 Goodman 등(1968)의 상호면요소를 이용하여 모델링하였으며, 블럭/보강재 연결부는 2절점 스프링요소를 이용하여 모델링하였다. 그림 12는 본 연구에서 채택한 뒤채움흙/벽체/보강재의 모델링 상세도를 보여주고 있다. 재료의 모델링에 있어서 뒤채움흙 및 각 구성요소의 접촉면은 Mohr-Coulomb 파괴규준과 적합유동법칙(associated flow rule)을 따른 탄소성 재료로, 보강재와 블럭은 탄성재료로 간주하였다. 표. 2는 해석에 적용된 각 구성요소의 역학적 특성을 나열하고 있다.

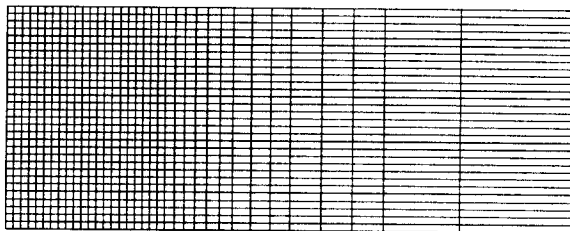


그림 11. 해석에 적용된 유한요소망

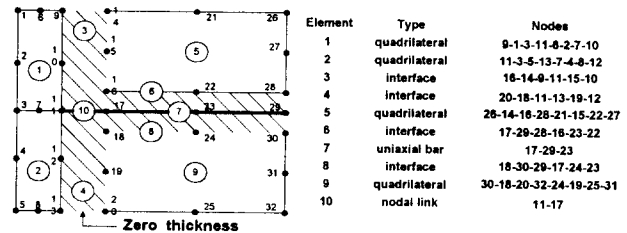


그림 12. 뒤채움흙/벽체/보강재 모델링 상세도

표 2. 해석에 적용된 역학적 특성

구분	탄성계수 (kPa)	단위중량 (kN/m ³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (degree)	포아송비
뒤채움흙	3.0×10^4	18	0	35	0.3
블럭	5.0×10^6	19	0	N/A	0.3
보강재	3.0×10^6	0.1	N/A	N/A	0.25
구분	연직강성 (kPa/m)		전단강성 (kPa/m)		
상호면 1	5×10^4		1.0×10^3		
상호면 2	5×10^4		1.0×10^4		
상호면 3	5×10^4		1.0×10^6		

4.4 설계 결과 및 비교

표 3은 REwall에 의한 설계결과와 상용 프로그램의 및 유한요소해석 결과를 비교하고 있다. 보이는 바와 같이 외적안정성 검토에 있어서 REwall의 결과는 기존의 상용프로그램들과 유사한 경향을 나타내고 있으나, 내적안정성 검토에서는 REwall의 결과와 프로그램 B, C, D는 유사하게 나타나고 있으나 프로그램 A의 경우 현저한 차이를 보이고 있으며 전반적인 경향에 있어서도 상당한 문제점을 드러내고 있음을 알 수 있다.

한편, 표 3에서는 유한요소해석 결과를 토대로 계산된 내적 안정성 검토 결과를 보여주고 있는

데 보이는 바와 같이 유한요소해석에서 얻어진 안전율이 REwall에 의한 안전율보다 현저히 큰 수치를 보이는 경향을 관찰할 수 있다. 이러한 경향은 지금 까지 발표된 현장계측 결과에 의한 비교 논문들에서도 제시된 경향이며 이는 현재 적용되고 있는 설계기준의 보수적인 측면에 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

표 2. 외적 및 내적 안정성 검토결과

(a) 외적 안정성 검토

외적 안정성 검토					
	A	B	C	D	REwall
저면활동	4.08	4.64	3.62	4.51	4.48
전도	6.32	6.73	5.42	6.37	6.30
지지력	9.51	12.71	11.18	12.6	12.43

(b) 내적 안정성 검토

내적 안정성 검토													
높이(m)	층번호	A		B		C		D		REwall		FEM	
		인장	인발	인장	인발	인장	인발	인장	인발	인장	인발	인장	인발
5.4	9	3.60	**	10.9	4.3	14.39	7.44	8.33	3.34	8.35	3.36	12.00	4.82
4.8	8	4.09	8.20	7.9	9.0	8.09	10.26	7.34	7.34	7.34	7.36	10.71	10.71
4.2	7	5.63	6.43	5.5	12.6	5.39	12.14	5.33	9.98	5.34	10.00	9.68	18.10
3.6	6	7.16	5.25	4.2	16.1	4.05	14.02	4.19	12.61	4.19	12.63	6.25	18.81
3.0	5	8.70	4.44	3.4	19.7	3.24	15.91	3.45	15.25	3.46	15.25	6.00	26.50
2.4	4	10.23	3.84	2.9	23.3	2.70	17.79	2.93	17.88	2.94	17.87	6.98	42.51
1.8	3	11.77	3.37	2.5	26.8	2.31	19.67	2.55	20.51	2.55	20.57	7.50	60.30
1.2	2	13.30	2.97	2.2	30.4	2.02	21.56	2.26	23.15	2.26	23.20	8.57	87.91
0.6	1	**	2.61	1.3	22.1	1.17	15.20	1.32	16.76	1.32	16.79	10.00	127.4

** 매우 큰 값을 의미

5. 결론

본 연구에서는 GUI 기능이 극대화된 블럭식 보강토 옹벽의 설계 자동화 프로그램 REwall을 개발하였으며 개발된 프로그램의 효율성 및 객관성을 확보하기 위하여 기존의 프로그램 및 유한요소해석 결과와의 비교를 수행하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) PC Window 상에서의 작업이 가능하도록 GUI(Graphic User Interface)기능을 최대화한 설계 자동화 프로그램의 개발을 통해 일반 지오그리드 보강토 옹벽의 설계/해석의 효율성 및 객관성을 확보하였으며, 국내 블럭식 보강토 옹벽 설계/해석 프로그램 개발의 요소기술을 확보하였다.

- (2) 기존의 상용 프로그램 및 기존의 프로그램과의 비교·검토 결과 REwall의 결과는 타당한 것으로 나타났으며, 따라서 실무에 효율적으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 현재 적용되고 있는 블록식 보강토 옹벽의 설계 프로그램은 만족할 만한 결과를 제공하고 있으나 일부 프로그램은 상당한 차이를 보이고 있어 프로그램에 대한 구체적 검토를 통해 타당성을 검증할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구의 일부는 (주) R.E. 코퍼레이션의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Bathurst, R. J., Case study of a monitored propped panel wall, Proc. 5th Int. Symp. on Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Walls, Balkema, Rotterdam, Brookfield, 159~166, 1992.
2. Bathurst, R. J. and Simac, M. R., Geosynthetic reinforced segmental retaining wall structures in North America Proc. 5th Int. Conf. On Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Singapore, 24p. 1994.
3. DIANA Users Manual, Release 6.1, TNO Building and Construction Research, Netherlands, 1996.
4. Goodman, R. E., Taylor R. L., and Brekke, T. L., A model for the mechanics of jointed rock, Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE, Vol. 94, No. SM3, 637~657, 1968.
5. Ho, S. K. and Rowe, R. K., Effect of Wall Geometry on the Behavior of Reinforced Soil Walls, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 14, No. 10. 521~542, 1996.
6. Kapurapu, R., and Bathurst, R. J., Behavior of Geosynthetic Reinforced Soil Retaining Walls Using the Finite Element Analysis, Computers and Geotechnics, Vol. 17, 179~299, 1995.
7. Rowe, R. K. and Ho, S. K., Continuous Panel Reinforced Soil Walls on Rigid Foundations, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 10, 912~920, 1997.