

## 장비하중을 받는 매립지 사면 차수 시스템 설계를 위한 유전자 알고리즘의 적용

### Application of Genetic Algorithm for Designing Tapered Landfill Lining System Subjected to Equipment Loadings

박 현 일\*<sup>1</sup> Park, Hyun-Il  
이 승 래\*<sup>2</sup> Lee, Seung-Rae

#### Abstract

In this paper, a new optimized design methodology is proposed. It integrates the discrete element method (DEM) and real-coded genetic algorithm for the design of landfill lining system subjected to equipment loadings. In applying the design method to a tapered lining system, the effect of the taperness, which means the change of shape for cover soil, is examined. The optimization problem to maximize the capacity of a waste-containment facility is solved using real coded genetic algorithm. Numerical example analysis is carried out for a typical landfill slope structure.

#### 요 지

본 연구에서는 장비하중이 고려된 폐기물 매립지 라이닝 시스템의 단면 설계를 위하여 제안된 개별요소법에 근거한 안정해석 기법과 실수형 유전자 알고리즘이 적용된 새로운 최적화 설계기법이 제안되었다. 개별 요소법에 근거하여 제안된 해석기법을 장비하중이 적용된 폐기물 매립지의 라이닝 시스템 해석에 적용함으로써, 라이닝 시스템의 구성 요소 중의 하나인 덮개흙의 단면 변화에 따른 영향이 검토되었다. 또한 폐기물 매립 용량을 최대화할 수 있는 매립지 라이닝 사면 형상을 결정하기 위하여, 실수형 유전자 알고리즘에 근거한 최적화 과정을 통한 최적설계 예제해석이 수행되었다.

**Keywords :** Equipment load, Genetic algorithm, Landfill design method, Liner, Slope stability

#### 1. 서 론

쓰레기 매립지의 매립용량은 매립부지의 면적, 매립 높이 및 사면 경사에 의해 결정된다. 특히 매립지 사면의 경사는 기술자의 판단, 장비의 사양 및 중량 등을 고려한 작업성(operational performance)에 의해 결정될 수 있다. 사면 경사가 급할수록 폐기물의 매립용량은 더욱 증가하여 경제성과 효율성을 높일 수 있지만, 사면 경사가 급하거나 매립 두께가 두꺼운 경우에 라이너

재료들 중 취약한 접촉면을 통하여 미끄러짐에 의한 파괴가 유발될 잠재적 가능성은 증가하며, 이로 인해 라이너 요소들에서의 과도한 인장응력의 증가를 유발하게 된다.

라이너 재료들이 장기적으로 차수재로서의 기능을 유지하기 위해서는 라이닝 시스템에서 유발되는 인장력에 대한 적절한 평가가 요구되며, 이를 위하여 한계 평형법에 근거한 방법들이 제안되었다(McKelvey 등, 1991; McKelvey, 1994; Kerkes, 1999). 특히 라이닝 시

\*1 한국과학기술원, 건설 및 환경공학과, 연수 연구원 (Post-Doc., Dept. of Civil & Envir. Engrg., KAIST, gomdori7@empal.com)

\*2 정회원, 한국과학기술원, 건설 및 환경공학과, 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil & Envir. Engrg., KAIST)

시스템에 장비하중이 작용될 경우 라이닝 시스템에 다음과 같은 두가지 형태의 손상을 야기할 수 있다. 첫째, 장비 하중은 라이닝 재료들에 인장력 증가를 유발시킴으로써 인장파괴에 대한 위험성을 증가시킨다. 둘째, 장비하중이 라이닝 시스템의 사면에 위치할 경우 라이닝 시스템에 포설된 덮개 흙층에서의 얇은 사면 파괴를 유발할 수 있다.

본 연구에서는 주어진 사면 경사에 대하여 덮개 흙의 경사두께를 조절하여 완만(tapered)하게 함으로써 이때 장비하중이 사면안정에 미치는 영향을 분석하였다. 즉 두께가 변하는(tapered) 덮개 흙의 사면경사면에 장비하중이 가해질 경우, 라이너 요소들에 유발되는 인장력에 대한 영향이 검토되었다. 또한 라이닝 시스템을 최적화하여 설계하기 위해서는 장비하중에 의한 사면 파괴 및 라이닝 재료들의 인장파괴에 대한 안정성을 확보하면서 매립부지의 폐기물 매립용량을 최대화할 수 있어야 한다. 이를 검토하기 위해 개별요소법을 근거로 제안된 안정해석 기법(박과 이, 2003)에 실수형 유전자알고리즘에 근거한 최적화 기법을 적용함으로써 라이닝 시스

템의 최적화된 단면 설계변수들을 구하고자 하였다.

## 2. 덮개 흙의 단면이 변하는(Tapered) 라이닝 시스템

### 2.1 개별요소법을 이용한 모델링

덮개 흙이 두께를 달리하여 포설된 라이닝 시스템 단면을 그림 1에 나타난 바와 같이 개별요소를 이용하여 모델링하였다. 그림 1에 나타난 바와 같이 흙 절편 요소들간의 힙과 변위의 관계를 고려하기 위하여 각각의 흙 절편 요소들은 인접요소들과 Winkler 스프링으로 연결되도록 하였다. 이때 전단 스프링의 거동은 Mohr-Coulomb의 파괴규준을 적용하였으며, 수직스프링에 대한 압축 파괴는 발생되지 않는 것으로 가정하였다. 인장 스프링은 차수재의 인장거동을 모사하기 위해 사용되었다. 또한 지반 절편간에서는 인장이 허용되지 않는다고 가정하였다.

제안된 방법의 수식전개는 Chang (1992)의 연구와 유사한 과정을 따른다. 그림 2(a)에 나타난 두 절편 사이의

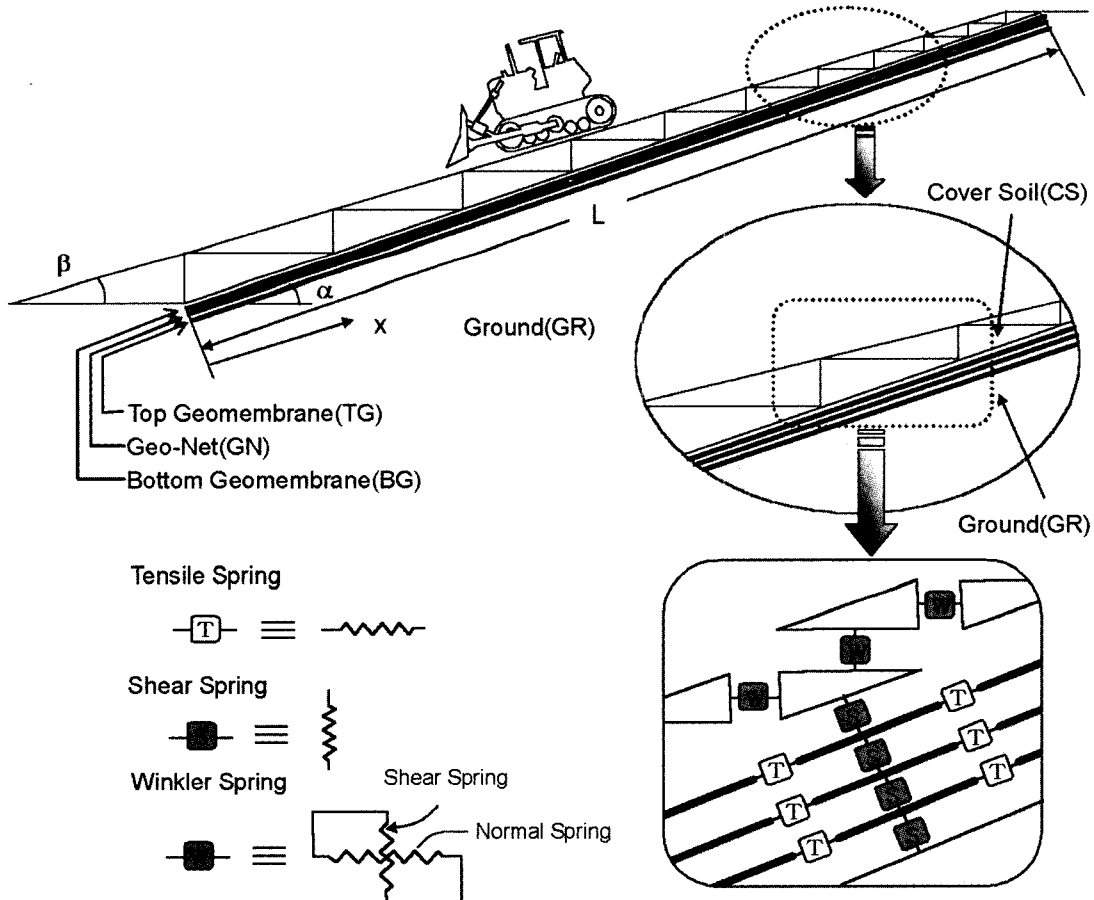
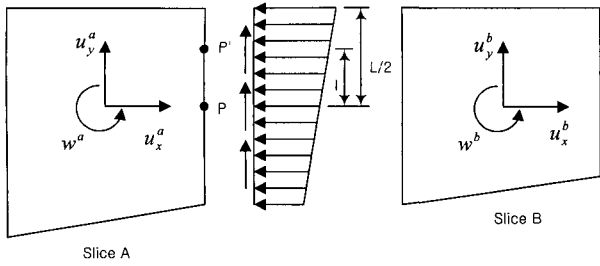
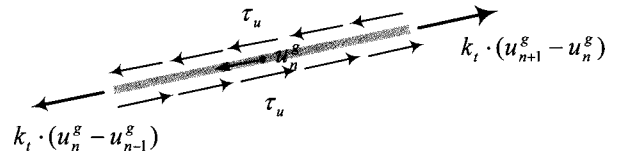


그림 1. 폐기물 매립지 라이닝 시스템에 대한 개별 요소 모델링



(a) 흙 절편 요소에 작용하는 전단 및 수직 응력



(b) 라이너 요소에 작용하는 전단 응력 및 인장력

그림 2. 개별요소 모델링

중점에서의 상대변위는 식 (1)처럼 절편 A와 절편 B의 질량중심점에서의 변위향으로부터 다음과 같은 행렬형식으로 표현될 수 있다.

$$\Delta u^b = R^{bb} u^b - R^{ba} u^a \quad (1)$$

여기서,  $R^b$ 는 절편 질량중심에서의 변위  $u$ 를 측면 중심점  $P$ 의 변위로 변환시켜 주는 행렬이다. 그리고 변위 벡터,  $u = (u_x, u_y, w)$ 는 절편 중심에서의  $X, Y$ 방향 변위 및 회전각을 의미한다. 첨자  $p$ 는 요소절편의 측면번호를 나타낸다. 그림 2(b)에 나타나 있는 지오멤브레인 절편의 힘평형 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\int k_s^u [u_s^{soil} - u(n)^g] dL - \int k_s^u u(n)^g dL + k_{r(n)} [u(n)^g - u(n-1)^g] - k_t(n+1) [u(n+1)^g - u(n)^g] = 0 \quad (2)$$

라이닝 시스템은 하부 지오멤브레인(bottom geomembrane, BG), 지오네트(genet, GN), 상부 지오멤브레인(top geomembrane, TG) 및 덮개 흙(cover soil, CS)으로 구성되어 있다. 덮개 흙에는 사면 경사( $\alpha$ )보다 작은 환경사( $\beta$ )가 적용되었다. 덮개 흙이 포설되는 과정 중에는 장비에 의한 동적하중이 라이닝 시스템에 가해지게 되는데, 본 연구에서는 유사 정적 하중으로 가정하여 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 장비의 사양은 캐터필러 D4C-LGP 불도저이며, 장비의 사양은 다음과 같다. 즉 중량은 77.52 kN이며, 트랙 너비는 0.634m이고, 지반접지면적(두개 트랙)은 2.61m<sup>2</sup>이다. 장비하중에 의해 예상되는 사면파괴면 형태는 덮개 흙에 대한 개별요소들의 접촉면을 통하여 유발된다고 가정하였다.

## 2.2 해석 결과

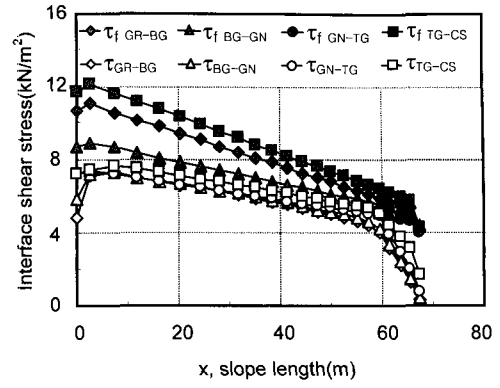
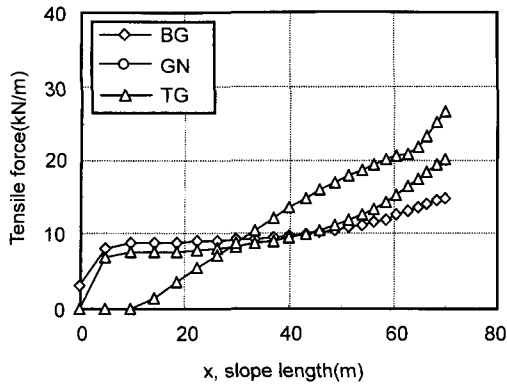
덮개 흙 사면경사에 환경사,  $\beta$ 를 적용하였을 경우, 라이닝 시스템의 안정해석을 수행하였으며, 해석에 사

용된 설계 변수의 값들은 표 1에 나타난 바와 같다. 사면 경사,  $\alpha$ 는 23°이고, 환경사,  $\beta$ 는 22°인 경우, 산정된 라이너 요소들의 접촉면들에서 유발되는 전단응력, 전단강도 및 인장력 분포가 사면길이에 대하여 그림 3에 도시되어 있다. 여기서, GR은 하부지반(Ground)을 의미하고 CS는 덮개흙(Cover soil)을 의미한다. 덮개 흙에 환경사를 적용할 경우, 산정된 최대 인장력 값들이 환경사면이 적용되지 않은 경우에 비하여 약 31~54% 정도 증가하는 양상을 보였다.

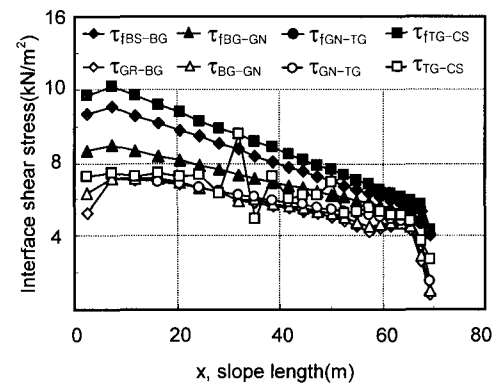
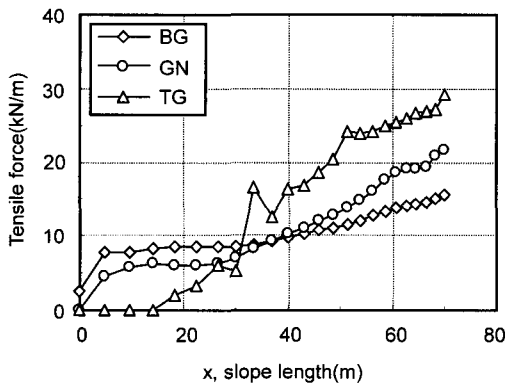
그림 4에는 장비하중의 위치 및 환경사,  $\beta$ 의 변화에 따라 제안된 해석방법에 의하여 구해진 사면의 안전율 값들이 나타나 있다. 장비가 사면 중간 지점에 위치한 경우 사면 안전율 값이 가장 작게 산정되었으며, 환경사,  $\beta$ 가 작아 질수록 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 장비가 사면 중간 지점에 위치한 경우 얇은 사면 파괴에 대한 위험이 가장 큰 것으로 예측되는 이유는 개별 요소들의 접촉면들에서 응력상태가 사면 상부나 하부

표 1. 예제 해석에 사용된 입력자료

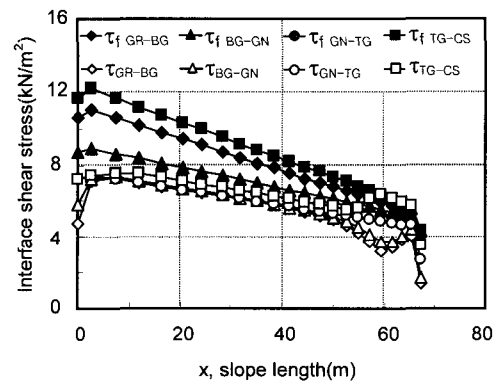
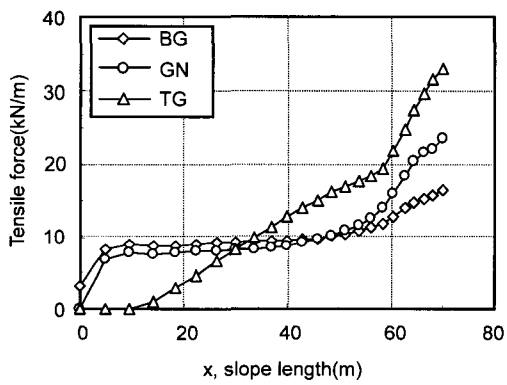
입력변수	값	
$\gamma$ , 단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	18.0	
$L$ , 사면길이(m)	70.0	
$H$ , 덮개흙의 두께(m)	0.6	
$T_o$ , 앵커리지 힘(kN/m)	10.0	
덮개 흙의 강도물성	$\phi$ , (deg.)	33.0
	$c$ , (kN/m <sup>2</sup> )	11.0
CS와 TG 접촉면의 강도물성	$\phi$ , (deg.)	20.0
	$c$ , (kN/m <sup>2</sup> )	2.0
TG와 GN 접촉면의 강도물성	$\phi$ , (deg.)	9.0
	$c$ , (kN/m <sup>2</sup> )	3.0
GN과 BG 접촉면의 강도물성	$\phi$ , (deg.)	12.0
	$c$ , (kN/m <sup>2</sup> )	3.0
BG와 GR 접촉면의 강도물성	$\phi$ , (deg.)	18.0
	$c$ , (kN/m <sup>2</sup> )	2.0



(a) 장비하중이 위치하지 않는 경우



(b) 장비하중이 사면 중간 지점에 위치한 경우



(c) 장비하중이 사면 상부 지점에 위치한 경우

그림 3. 각 라이너 재료의 인장력 분포 및 접촉면에서의 전단응력 분포 ( $\alpha=23^\circ, \beta=22^\circ$ 인 경우)

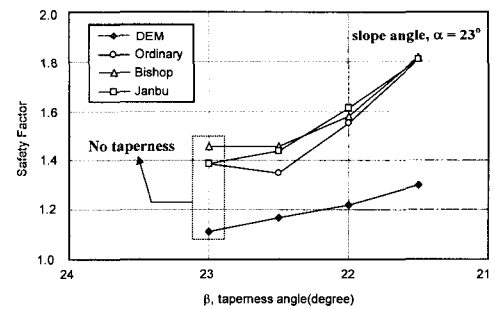
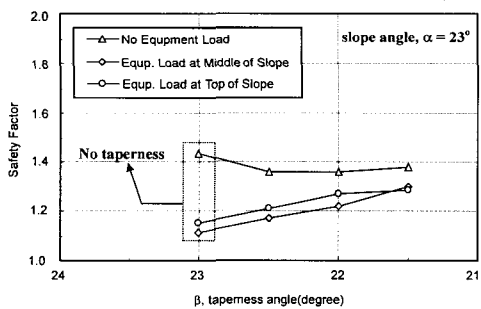


그림 4. 뒷개 흙 표면 환경사각의 변화에 따른 사면의 안전을 변화

그림 5. 뒷개 흙 표면 환경사각의 변화에 따라 한계평형법에 의해 구해진 사면안전을 값과의 비교

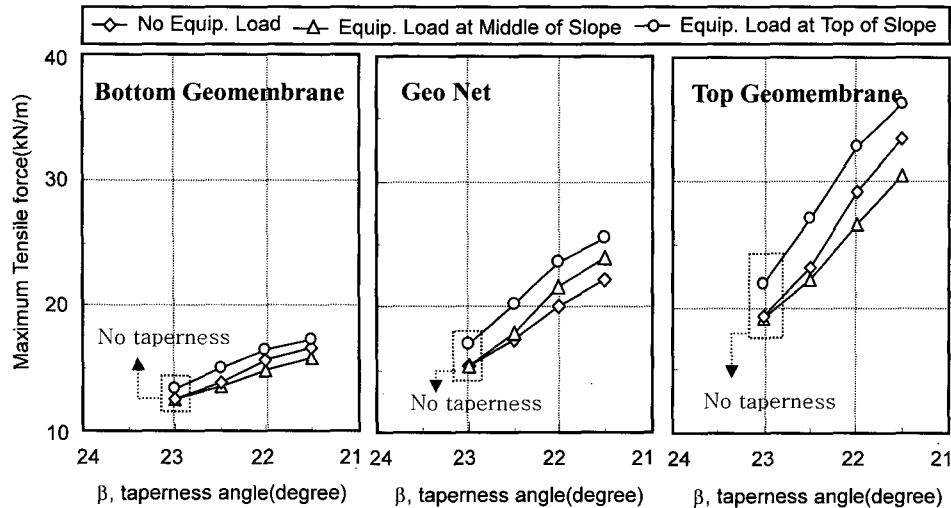


그림 6. 덮개 흙 표면 완경사각의 변화에 따라 구해진 각 라이너들의 인장력 값 ( $\alpha = 23^\circ$ 인 경우)

보다 사면 중간 지점 부근에서 소성상태에 더 근접하기 때문인 것으로 사료된다.

그림 5에서는 한계평형법에 의한 사면안정해석(SLOPE/W) 프로그램을 사용하여 완경사각의 변화에 따른 차수재 사면의 안정해석을 수행하여 제안된 해석기법에 의한 결과와 비교하였다(GEO-SLOPE, SLOPE/W, 1994). 사면안정해석(SLOPE/W)에서는 덮개흙과 하부지반 사이의 접촉면에 매우 얇은 전단층을 설정한 후 CS-TG, TG-GN, GN-BG 및 BG-GR의 네개의 차수재 접촉면 전단강도를 각각 적용하여 각각의 경우에 대한 안전율을 구하였다. 또한 파괴면은 덮개흙 층과 덮개흙 및 하부지반의 접촉면만을 거치며, 하부지반으로는 파괴면이 통과하지 않는다는 가정하에 해석이 수행되었다. 네가지 유형의 차수재 접촉면 전단강도에 대해 각각 산정된 안전율 가운데 최소안전율 값을 제안된 해석기법과 비교한 결과, 제안된 해석 기법이 한계 평형법에 비하여 상당히 안전측에 해당하는 안전율을 예측하고 있다. 특히 제안된 해석기법에서는 한계평형법에서는 모사할 수 없는 각 차수재의 인장거동 및 차수재 접촉면에서의 전단거동과 덮개흙의 거동에 대한 힘과 변위 관계에 대한 실제 거동을 보다 적합하게 고려하였기 때문에 차수재 사면시스템의 안전율을 보다 신뢰성 있게 산정하였다고 할 수 있다.

그림 6에는 장비하중의 위치 및 완경사,  $\beta$ 의 변화에 따라 각각의 라이너 재료들에서 유발된 최대 인장력값들이 구해져 있다. 장비하중이 사면 상부에 위치한 경우 상당한 인장력의 증가를 보이며, 특히 TG에서 완경사,

$\beta$  값이 감소함에 따라 인장력의 가장 큰 증가를 보임을 알 수 있다. 이는 TG와 GN 사이의 접촉면이 다른 라이너 재료들 간의 접촉면들에 비해 전단강도가 가장 작기 때문에 완경사,  $\beta$  값의 감소에 따라 소성 상태에 더욱 근접하게 되기 때문이다. 즉, 장비하중이 적용될 경우 TG와 GN 사이의 접촉면은 바로 소성상태에 다다르게 되므로 장비하중의 대부분이 TG 자체의 인장력으로 전달되기 때문이다. 이 경우, 라이닝 재료들의 인장강도가 동일하다면, TG가 인장파괴에 대한 위험성이 가장 크다고 할 수 있다.

해석결과들로부터 완경사,  $\beta$ 가 감소함에 따라 장비하중에 의한 사면파괴에 대한 안전율은 증가하지만, 라이닝 재료들에서 산정된 인장력값은 오히려 증가하는 경향을 보인다. 따라서, 장비하중에 의한 얇은 사면파괴 및 라이닝 재료들의 인장파괴에 대한 안정성을 모두 확보하면서 동시에 폐기물 매립용량을 최대화하기 위해서는 사면 경사,  $\alpha$ , 완경사,  $\beta$  및 사면 길이, L과 같은 설계변수 값들의 적절한 조합이 이루어져야 할 것이다.

### 3. 실수형 유전자 알고리즘(Real coded genetic algorithm)

유전자 알고리즘은 유전자들(chromosomes)로 구성된 모집단이 무작위로 생성되어 재생산(reproduction) 및 돌연변이(mutation)와 같은 유전자 조작(genetic operator)을 통하여 보다 해에 근접한 개체군으로 발전된다는 개념이다. 즉 다음 세대의 새로운 집단(population)은 이전

세대로부터 재생산과 돌연변이 과정을 거친 후 선택(selection) 과정을 거쳐서 생성된다. 유전자 알고리즘(GA)은 이와 같이 자연 선택 및 자연 유전자와 같은 생물학적 진화 이론 개념에 근거한 확률론적 최적화 기법으로 전역적이며 견고한 해를 구할 수 있다(Goldberg, 1989; Holland, 1975). 유전자 알고리즘은 이와 같이 최적화 문제를 해결하는 효율적인 기법으로서 여러 공학 분야에서 다양하게 적용되고 있다.

본 연구에서는 순위적합선별(rank-based fitness assignment) 방법이 확률론적 비례 추출(stochastic universal sampling)방법과 연계되어 사용되었다. 즉 각 세대에서의 개체들은 순위적합선별을 통하여 무작위로 선별된 이후 재생산과 돌연변이 과정을 거친 후에 다음 세대에 포함되게 된다. 이러한 과정을 거친 후에 최종 세대의 최적 개체가 최적화 문제의 최종 해로서 채택된다. 실수형 유전자 알고리즘에는 다양한 여러 변수들이 존재하지만, 기본적인 유전자 알고리즘은 다음과 같다.

### 3.1 초기 개체군의 생성(Creation of initial individuals)

설계변수를 표현하기 위하여 이진수를 사용하는 이진수형 유전자 알고리즘에 비해 실수형 유전자 알고리즘은 설계변수를 나타내는 개수를 표현하기 위하여 실수 벡터를 사용한다. 본 연구에서와 같이 3개의 설계변수를 갖는  $q$ 개의 개체군을 사용할 경우 다음 식 (3)과 같은 개체수의 모집단이 생성된다.

$$\begin{aligned} P^1 &= [ a_1^1 \ a_2^1 \ a_3^1 ] \\ P^2 &= [ a_1^2 \ a_2^2 \ a_3^2 ] \\ \vdots &= [ \vdots ] \\ P^q &= [ a_1^q \ a_2^q \ a_3^q ] \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,  $P$ 는 개체군에 존재하는 각 개체를 의미하며,  $a_j^i$ 는  $i$ 번째 개체의  $j$ 번째 설계변수를 의미한다.

### 3.2 선택(Selection)

최적화되는 목적함수는 각 개체를 평가하는 메커니즘을 제공한다. 이 때 각 개체의 적합도에 근거하여 유전적 처리과정(genetic manipulation process)에 사용될 개체들을 선별하게 된다. 동일한 개체수를 갖는 다음 세대를 생산하기 위하여 개체들이 각 적합도에 근거하여 선정되므로, 이전 세대보다 평균적으로 해에 보다 근접된 개체들로 구성될 수 있다. 이를 위해 여러 선택방법

들이 개발되어 있으며, 본 연구에서는 순위적합선별법이 사용되었다(Back와 Hoffmeister, 1991). 순위적합선별법에서는 개체들이 목적함수의 순위에 따라 정렬되는데, 각 개체의 적합도는 실질적인 목적함수의 값보다는 개체군의 순위로서 표현된다.

### 3.3 재생산(Reproduction)

재생산은 선택된 개체군에서 무작위로 두 개체(parents)를 선택하는 것을 포함한다. 이와 같이 선택된 두 개체(parents)는 다음 세대에 적용될 새로운 개체(offspring)를 생산하기 위하여 교배된다. 본 연구에서는 중간 재조합(intermediate recombination) 방법을 사용하여 두 개체(parents) 즉,  $P_1$  및  $P_2$ 로부터 새로운 개체(offspring)를 다음 식 (4)와 같이 생산하게 된다(Muhlenbein와 Schlierkamp-Voosen, 1993).

$$offspring = P_1 + \alpha \cdot (P_2 - P_1) \quad (4)$$

여기서,  $offspring$ 은 다음 세대에 적용될 새로운 개체를 의미하고,  $\alpha$ 는 구간  $[-d, 1+d]$ 에서 무작위로 균일하게 선택하는 비례계수를 의미한다.

### 3.4 돌연변이(Mutation)

다른 영역에 존재하는 해에 가장 근접한 개체가 현 세대의 개체군에 포함되어 있지 않은 경우에는 재생산 과정을 거치더라도 해에 보다 근접한 개체로 발전될 수 있는 가능성은 매우 낮다. 이 경우에 돌연변이 과정을 통하여 개체군과 다른 영역에 존재하는 개체를 생성시킴으로써 유전자 알고리즘의 조기 수렴을 방지할 수 있다.

### 3.5 해석 과정(Analysis procedure)

선택, 재생산 및 돌연변이 과정은 매 세대에서 반복적으로 수행되며, 마지막 세대에서의 최적 개체가 해로 선정되며, 본 연구에서 사용된 GA 과정은 다음과 같이 정리될 수 있다.

- ① 실수형 개체군을 생성
- ② 각 개체의 적합도를 평가
- ③ 순위적합선별 및 확률론적 보편추출(stochastic universal sampling)에 의하여 교배에 적용될 개체들을 선별

- ④ 새로운 개체군의 생성을 위해 선별된 개체들에 대하여 재생산과 돌연변이 과정을 수행하여 새로운 개체들을 생성
  - ⑤ 현 개체군의 순위가 낮은 개체들에 대하여 생성된 개체들로서 무작위로 교체
  - ⑥ 최종적으로 만들어진 개체군에 대한 적합도 평가
- ③~⑥ 단계의 과정을 세대(generation)라 표현하며, 주어진 기준이 만족될 때까지 세대를 반복하거나 혹은 주어진 최대 세대 수까지 과정을 반복할 수 있다. 본 연구에서는 최대 세대수를 지정하는 방법을 사용하였다.

#### 4. 설계 예제

그림 7에 주어진 매립부지에 대하여 폐기물 매립용량을 최대할 수 있는 최적화 문제 해석이 수행되었다. 본 연구에서 사용된 유전자 변수들이 표 2에 나타나 있으며, 예제에서 최적화되는 목적함수는 식 (5)와 같다. 설계변수는 사면 경사  $\alpha$ , 완경사  $\beta$  및 사면 길이  $L$ 이다.

$$V(\alpha, \beta, L) = (W - L \cdot \cos \beta - 2t / \sin \alpha) \cdot L \sin \beta \quad (5)$$

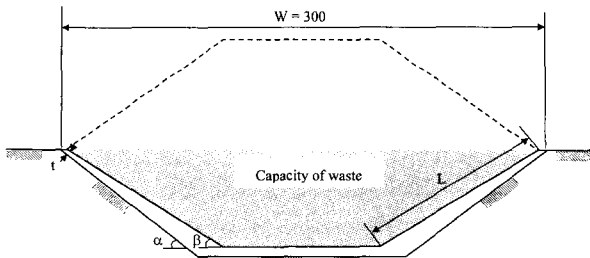


그림 7. 주어진 매립부지에 적용된 라이닝 시스템에 대한 매립 용량

표 2. 유전자 알고리즘에 사용된 변수 값

변수	값
개체군의 수	100
재생산 확률	70%
돌연변이 확률	0.5%
최대 세대 수	50

표 3. 해석에 사용된 제한 조건

설계변수	안전율
$\alpha_{\min} < \alpha < \alpha_{\max}$	$T_{\max, TG} < T_{ult, TG} / 1.2$
$\alpha - 2^\circ < \beta < \alpha$	$T_{\max, GN} < T_{ult, GN} / 1.2$
$W / 10 < L \cdot \cos \alpha < W / 2$	$T_{\max, BG} < T_{ult, BG} / 1.2$
사면파괴에 대한 안전율	$SF_{equip, load} > 1.2$

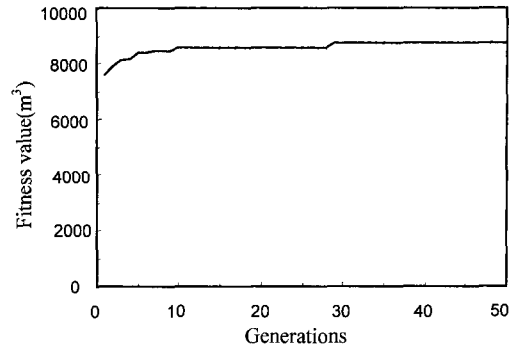
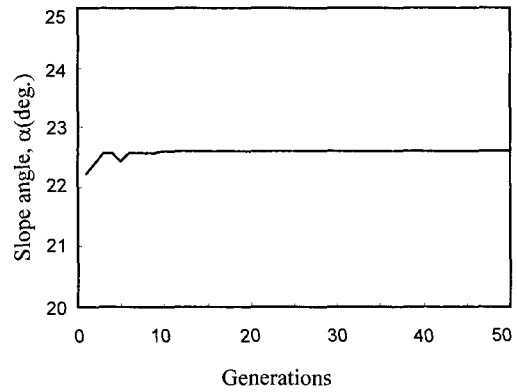
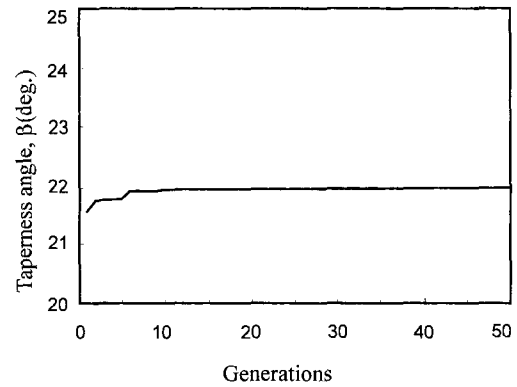


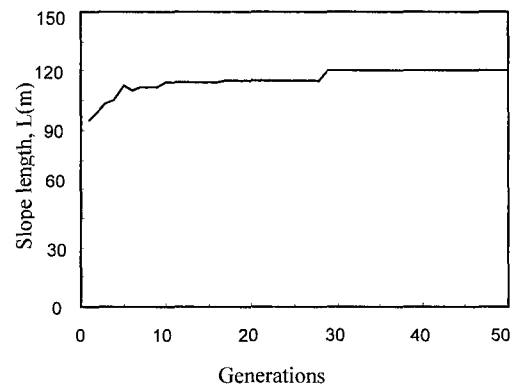
그림 8. 각 세대에 대한 목적함수 값의 변화



(a) 사면 경사



(b) 덮개 흙 완경사



(c) 사면 길이

그림 9. 각 세대에 대한 설계변수값들의 변화

여기서,  $V(\alpha, \beta, L) =$  매립용량이고,  $t =$  사면 상부에서의 덮개흙 두께이고,  $W =$  매립부지 너비이다.

해석에 사용된 변수 값들은 표 1과 동일하다. 주어진 매립지 부지( $W = 300m$ )에 대하여 표 3에 주어진 제한 조건을 만족하며, 동시에 매립용량을 최대화할 수 있는 설계단면을 구하기 위하여 실수형 유전자 알고리즘에 근거한 최적화 과정이 수행되었다. 본 설계 예제에서 라이너로 사용되는 TG, GN 및 BG의 설계강도,  $T_{ult, TG}$ ,  $T_{ult, GN}$  및  $T_{ult, BG}$ 는 각각 50, 40 및 50kN/m으로 가정하였으며, 인장파괴에 대한 안전율,  $SF_{equipment}$ 은 동일하게 1.2로 적용되었다. 장비하중에 의한 얇은 사면파괴에 대한 안전율 또한 1.2로 적용하였다.

실수형 유전자 알고리즘이 적용되어 최대 세대(maximum generation)까지 선택, 재생산 및 돌연변이 과정을 반복함으로 마지막 세대에서의 최적의 개체가 최종해로 채택되었다. 실수형 유전자 알고리즘은 각각의 세대에서의 최적해를 채택하게 되며, 그림 8과 9에는 유전자 알고리즘 과정을 통해 구해진 각 세대에 대한 최대 매립용량 값 및 설계변수 값들이 나타나 있다. 세대 수가 30에 가까워 짐에 따라 매립 용량을 의미하는 목적함수 값은  $8730m^3/m$ 로 수렴하였으며, 설계 변수  $\alpha$ ,  $\beta$  및  $L$ 은 각각  $22.6^\circ$ ,  $22^\circ$  및 80m로 수렴하였다. 장비하중에 의한 사면 파괴에 대한 안전율은 1.21로 평가되었으며, 각 라이너 요소들의 인장파괴에 대한 안전율은 TG, GN 및 BG에 대하여 1.22, 1.31 및 1.43으로 구해졌다.

## 5. 결론

본 연구에서는 주어진 매립부지에서 매립용량을 최대화할 수 있는 라이닝 시스템 설계를 수행하기 위하여 개별요소법에 근거한 해석방법과 실수형 유전자 알고리즘을 조합한 새로운 설계 기법을 제안하였다. 덮개 흙의 두께가 변화하는(tapered) 라이닝 사면에 장비하중이 작용하는 경우 사면 경사 및 덮개 흙의 환경사각에 의한

영향이 검토 되었으며, 라이닝 시스템 설계예제에 대하여 유전자 알고리즘에 의한 최적화 과정을 수행함으로써 매립용량을 최대화할 수 있는 설계 변수 값들이 구해졌다. 본 연구에서 제안된 설계 기법은 보다 복잡한 이중 라이닝 시스템에도 확장 적용될 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 스마트 사회기반시설 연구센터의 지원에 의하여 수행되었으며, 저자들은 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고 문헌

1. 박현일, 이승래(2003), "개별요소법을 사용한 매립지 사면 차수 시스템의 안정성 평가", 한국지반공학회지, 제19권, 제2호, pp.87-96.
2. Back, T. and Hoffmeister, F.(1991), Extended Selection Mechanisms in Genetic Algorithms, 4<sup>th</sup> Int. Conf. of Genetic Algorithm, San Mateo, California, USA, pp.92-99.
3. Chang, C.S.(1992), Discrete element method for slope stability analysis, Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.118, No.12, pp.1889-1905.
4. GEO-SLOPE. SLOPE/W(1994) GEO-SLOPE International Ltd., Calgary, Alberta, Canada.
5. Goldberg, D.E.(1989), Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning, New York: Addison-Wesley.
6. Holland, J. J.(1975), Adaptation in natural and artificial systems, The University of Michigan Press.
7. Kerkes, D.J.(1999), Analysis of equipment loads on geocomposite liner systems, *Geosynthetics'99*, Boston, USA, pp.1043-1054.
8. McKelvey, J.A., Deutsch, W.L., and Weston R.F.(1991), The effect of equipment loading and tapered cover soil layers on geosynthetic lined landfill slopes, *Proc. of the 14th Annual Madison Waste Conference*, Madison, WI, USA, pp.395-411.
9. McKelvey, J.A.(1994), Consideration of equipment loading in geosynthetic lined slope design, *Proc. of the 8<sup>th</sup> International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics*, Morgantown, WV, USA, pp.1371-1377.
10. Muhlenbein, H. and Schlierkamp-Voosen, D.(1993), Predictive Models for the Breeder Genetic Algorithm: I. Continuous Parameter Optimization. *Evolutionary Computation*, 1(1), pp.25-49.

(접수일자 2003. 5. 9, 심사완료일 2003. 12. 6)