

# 개미군락최적화 알고리즘을 이용한 트러스 구조물의 설계최적화

## Truss Design Optimization using Ant Colony Optimization Algorithm

이 상 진\* · 한 우 동\*\*

Lee, Sang-Jin · Han, Yu-Dong

### 요 약

본 논문은 개미군락최적화 알고리즘을 이용한 트러스 구조물의 설계최적화에 대한 이론적 배경과 수치 해석 결과를 기술하였다. 트러스의 설계최적화를 수행하기 위하여 구조물의 중량을 최소화하는 것을 목적 함수로 하고 구조물에서 발생하는 응력과 변위의 허용치를 초과하지 않는 것을 구속조건으로 이용하였다. 본 연구에서는 개미군락알고리즘을 구조물의 최적화에 적용하기 위하여 외판원문제(travelling salesman problem: TSP)를 재 정의하는 방법을 사용하였으며 최대-최소개미시스템(max-min ant system)을 도입하여 트러스 구조물의 최적설계를 수행하였다. 이때 이산화 된 설계변수를 사용하였으며 구속조건을 처리하기 위해서 벌점함수를 사용하였다. 본 연구를 통하여 개미군락최적화 알고리즘은 구조최적화에 그 적용 가능성이 높았으며 전통적인 최적검색 기법의 새로운 대안으로 이용될 수 있는 것으로 나타났다.

**keywords** : 개미군락알고리즘, 설계최적화, 트러스, 벌점함수, 최대-최소개미시스템

## 1. 서 론

개미군락최적화(ant colony optimization: ACO) 알고리즘은 자연계에서 일어나는 개미의 행동양식을 모방한 최적탐색 기법으로 1992년 박사학위논문(Dorigo, 1992)에 처음 소개되었다. ACO 알고리즘은 집단생활을 하는 개미의 행동에 대한 연구(Deneubourg, 1983)의 연장선에 있으며 개미의 행동양식을 수치적으로 모방한 것이다. 간단히 설명하면 ACO 알고리즘은 인공의 개미를 생성하고 검색에 필요한 특성을 인공 개미에게 부여한 것이다. 따라서 ACO의 인공개미는 자연개미와 마찬가지로 군락의 일부로 존재하며 페로몬(pheromone)을 사용하고 활동의 주목적이 먹이를 찾기 위한 최상의 경로를 찾는 데 있다. ACO 알고리즘의 일반 이론과 내용은 최근 출간된 문헌(Dorigo and Blum, 2005)을 참고할 수 있다. 최근에는 ACO 알고리즘의 연구개발이 활발해 지면서 구조최적화 분야에서도 이를 응용한 연구가 점차 활기를 띠기 시작했다. 특히 ACO 알고리즘과 타부(tabu) 검색을 이용한 이산화 구조물의 최적설계에 대한 연구(Bland, 2001)가 발표된 바 있다. 이 논문에서는 ACO의 기본이론과 이를 이용해 수행한 공간트러스구조물에 대한 최적설계 결과가 제시되었다. 또한 계급화 된 ACO 알고리즘과 TSP를 재정의 하여 트러스 구조물의 설계최적화를 수행한 연구결과(Camp and Bichon, 2004)가 발표된 바 있으며 평면트러스의 최적화에 ACO알고리즘이 적용되기도 했다(Serra and Venini, 2006). 이러한 맥락에서 본 연구는 트러스 구조물의 크기최적화를 수행하기 위하여 최대-최소개미시스템(max-min ant system)을 도입하였으며 이를

\* 종신회원 · 경상대학교 건축공학과 부교수 lee@gnu.ac.kr (University of Cambridge, Visiting Scholar)

\*\* 학생회원 · 경상대학교 건축공학과 석사과정

이용하여 트러스 구조물의 설계최적화를 수행하고 그 결과를 제시하였다.

## 2. 트러스 구조물 최적화 문제 정의

본 연구는 트러스 구조물의 건설에 사용된 재료의 전체중량을 최소화하는 것을 목적함수로 하고 각 부재에서 발생하는 응력과 절점에서 발생하는 변위가 허용치를 초과하지 않도록 하는 제약 조건을 채택하였다. 따라서 트러스 구조물의 설계최적화 문제는 다음 식으로 정의된다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } \Psi(A_e) &= \sum_{e=1}^{nel} W_e = \rho A_e L_e & (1) \\ \text{Subjected to } & \left| \frac{\sigma_e}{\sigma_{allow}} \right| - 1 \leq 0, \left| \frac{u_j}{u_{allow}} \right| - 1 \leq 0 \end{aligned}$$

여기서  $\Psi$ 는 설계최적화 문제의 목적함수  $W_e$ ,  $\rho$ ,  $A$ ,  $L$ 는 각각 유한요소  $e$ 의 중량, 밀도, 단면적, 부재의 길이 그리고  $nel$ 은 요소의 수이다.  $\sigma_e$ 는 요소  $e$ 의 응력 값을 나타내고  $\sigma_{allow}$ 는 부재의 허용 응력 값 그리고  $u_k$ 는 절점  $k$ 에서 발생하는 변위 값을 나타내며  $u_{allow}$ 는 허용 변위 값을 나타낸다.

## 3. 개미군락최적화 알고리즘

본 연구에서는 트러스 구조물의 최적화를 수행하기 위해서 TSP를 재 정의한 개미군락시스템을 이용하였다. 먼저 개미군락시스템에 존재하는 개미의 전체수  $n$ 은 다음과 같다.

$$n = \sum_{i=1}^c a_i^{(t)} \quad (2)$$

여기서  $c$ 는 외관원이 방문해야할 도시의 수를 나타내고  $a_i^{(t)}$ 는 시간  $t$ 에 도시  $i$ 에 있는 개미의 수를 나타낸다.

개미들이 작업을 진행하는 동안 개별개미는 개미들이 남긴 흔적을 감지하게 되는데 이러한 능력을 가시도(visibility)라고 한다. ACO에서는 가시도를 다음과 같이 표현한다.

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (3)$$

여기서  $d_{ij}$ 는 도시  $i$ 와  $j$ 사이의 거리를 나타낸다.

식(3)에서 정의된 바와 같이 가시도는 도시사이의 거리의 역수이며 가시도가 높다는 것은 최단의 경로를 찾을 수 있는 확률이 높아진다는 것을 뜻하게 된다. 궁극적으로 개미는 최단경로를 결정하기 위해 경로를 선택해야 하는데 본 연구에서는 위에서 정의한 가시도와 개미가 남겨놓은 흔적의 농도를 이용한 다음 식을 이용하여 선택하게 된다.

$$v_{ij} = \frac{(\tau_{ij}^{(t)})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{i=1}^n (\tau_{ij}^{(t)})^\alpha (\eta_{ij})^\beta} \quad (4)$$

여기서  $\tau_{ij}^{(t)}$ 는 도시  $i$ 와  $j$ 를 연결하는 경로에서 나타나는 흔적의 농도(Dorigo, 2005)를 나타낸다. 또한 매개변수  $\alpha, \beta$ 는 개미흔적의 농도와 가시도의 중요도를 결정하는데 사용하게 된다. 따라서 개미가 시간  $t$

에 도시  $i$ 와  $j$ 를 이동하면서 어떤 경로를 선택하게 될 확률  $p_{ij}^{(t)}$ 는 다음과 같다.

$$p_{ij}^{(t)} = \frac{v_{ij}}{\sum_{\ell \in allowed} v_{i\ell}} \quad (5)$$

여기서  $allowed$ 는 시간  $t$ 에 개미에게 허용되어진 도시의 리스트를 말한다. 참고로 개미가 도시  $j$ 로 이동하는 것이 허락되지 않는다면 확률 값은 0이 된다.

본 연구에서는 ACO의 기본시스템 중의 하나인 최대-최소 개미 시스템(Dorigo, 2005)을 이용하여 구조최적화를 수행하였으며 응력과 변위의 제약함수를 만족하기 위하여 벌점함수를 도입하였다.

#### 4. 최적화 결과

이 예제는 ACO 알고리즘의 기본성능을 조사하기 위하여 그림 1에 도시된 25부재를 가지는 삼차원 트러스를 이용하였다. 25부재 삼차원 트러스는 10개의 절점과 25개의 부재로 이루어져 있다. 설계변수는 25개의 부재를 8개의 그룹으로 연계하였으며 표 1에 기술한 바와 같다. 해석에 사용된 탄성계수는  $E = 10 \times 10^6 \text{ ksi}$  ( $6.89 \times 10^7 \text{ Mpa}$ )이고 질량은  $0.1 \text{ lb/in}^3$  ( $2.768 \text{ t/m}^3$ ) 그리고 하중은 절점 1, 2, 3, 6번에 집중하중으로 가하였으며 표 2에 기술한 바와 같다.

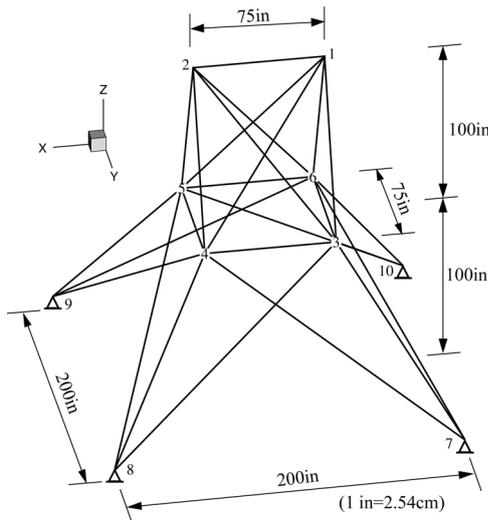


그림 1 25부재 3차원 트러스

표1. 설계변수 연계

설계변수	부재연결 (절점-절점)
1	1-2
2	1-4, 1-5, 2-3, 2-6
3	1-3, 1-6, 2-4, 2-5
4	3-6, 4-5
5	3-4, 5-6
6	3-10, 4-9, 5-8, 6-7
7	3-8, 4-7, 5-10, 6-7
8	3-7, 4-8, 5-9, 6-10

표2. 트러스에 가해진 절점하중

절점	하중조건 [단위: lb(tf)]		
	x	y	z
1	1000(0.453)	-10000(-4.53)	-10000(-4.53)
2	0	-10000(-4.53)	-10000(-4.53)
3	500(0.226)	0	0
6	600(0.272)	0	0

구조최적화의 목적함수는 트러스의 중량을 최소화해야 하는 것으로 하였으며 부재의 응력은 인장과 압축영역에서 모두  $40 \text{ ksi}$  ( $275.6 \text{ Mpa}$ )를 넘지 못하게 하였고 트러스의 최상부의 절점 1,2에서 발생하는 변위가  $\pm 0.35 \text{ in}$  ( $0.889 \text{ cm}$ )를 넘지 못하게 하였다. ACO알고리즘을 수행하기 위하여 식(4)의 매개변수를  $\alpha = 1.0$   $\beta = 0$ 으로 고정하였으며 개미의 수에 따른 수렴성에 대한 수치해석 결과를 도출하고 그림 2에 도시하였다. ACO를 이용하여 도출한 최소중량은 개미의 수를 1000마리로 하였을 때  $484.85 \text{ lb}$ 로 나타났다. 참고로 이 결과는 ACO의 매개변수를 고정하여 도출한 결과이므로 세부적인 수치해석을 통한 공간구조물에 대한 적절한 ACO알고리즘의 매개변수 값과 관련한 후속 연구결과가 곧 제시될 예정이다.

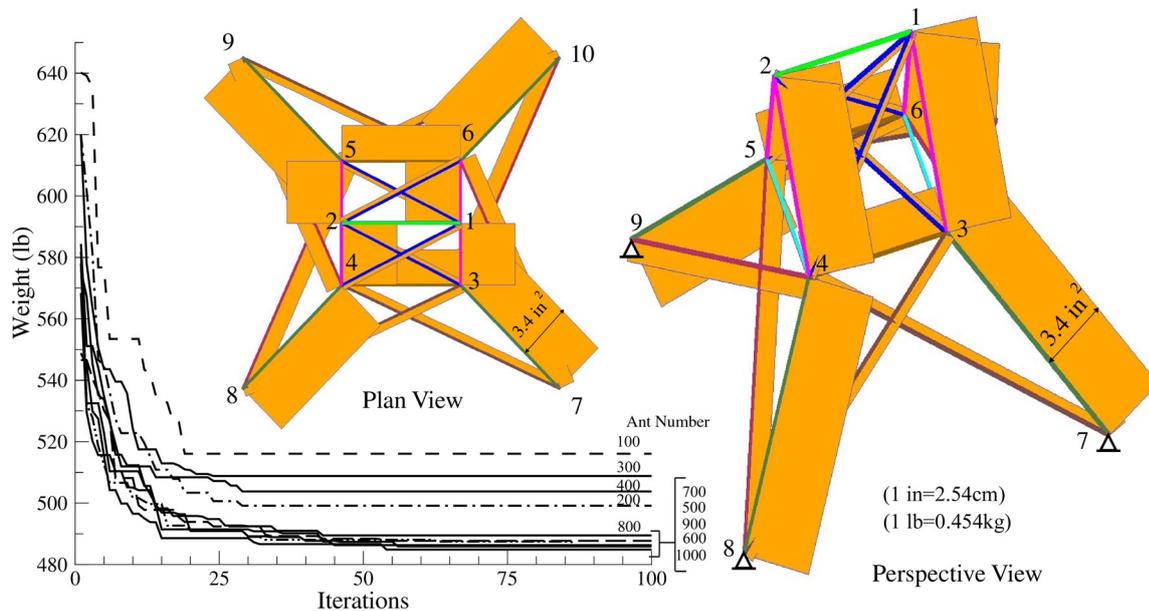


그림 2 개미수에 따른 25부재 공간트러스의 최적이력 및 부재크기

## 5. 결론

ACO 알고리즘을 바탕으로 하는 공간트러스 구조물의 최적화기법을 제시하고 그 성능을 검증하였다. 본 연구에서 도입한 최대-최소개미시스템(max-min ant system)은 이산화 설계변수를 사용하는 공간트러스 구조물의 설계최적화에 매우 효과적인 것으로 나타났다. ACO를 이용하여 25부재 공간트러스에 대한 최적설계를 수행한 결과는 참고해로 제시하고자 한다.

## 감사의 글

This research was supported by the grant from the Gyeongsang Nat'l University and the grant(code#06 R&D B03) from Cutting-edge Urban Development Program funded by the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government.

## 참고문헌

- Camp, C.V., Bichon, B.J. (2004) Design of space trusses using ant colony optimization, ASCE, 103(5), pp.741~751.
- Denebourg J.L., Pasteels J.M., Verhaeghe J.C. (1983) Probabilistic Behaviour in Ants : a Strategy of Errors?, Journal of Theoretical Biology, numéro 105. pp.257~271
- Dorigo, M. (1992) Optimization, learning and natural algorithms, Ph.D. thesis, Dipart. Elettronica e Informazione, Politecnico di Milano, Italy.
- Serra, M., Venini, P. (2006) On some applications of ant colony optimization metaheuristic to plane truss optimization, Struc. Multidisc. Opt., 32, pp.499~506.