

# 개미군 최적화 방법을 적용한 무선 센서 네트워크에서의 클러스터링 최적 설계

†김성수\* · 최승현\*\*

## Clustering Optimal Design in Wireless Sensor Network using Ant Colony Optimization

†Sung-Soo Kim\* · Seung-Hyeon Choi\*\*

### ■ Abstract ■

The objective of this paper is to propose an ant colony optimization (ACO) for clustering design in wireless sensor network problem. This proposed ACO approach is designed to deal with the dynamics of the sensor nodes which can be adaptable to topological changes to any network graph in a time. Long communication distances between sensors and a sink in a sensor network can greatly consume the energy of sensors and reduce the lifetime of a network. We can greatly minimize the total communication distance while minimizing the number of cluster heads using proposed ACO. Simulation results show that our proposed method is very efficient to find the best solutions comparing to the optimal solution using CPLEX in 100, 200, and 400 node sensor networks.

Keywords : Ant Colony Optimization, Clustering Design, Wireless Sensor Network

논문접수일 : 2009년 02월 24일 논문수정일(1차 : 2009년 07월 13일, 2차 : 2009년 09월 04일)

논문게재확정일 : 2009년 09월 21일

\* 강원대학교 산업공학과

\*\* 고려대학교 정보경영공학전문대학원 금융보안학과

† 교신저자

# 1. 서론

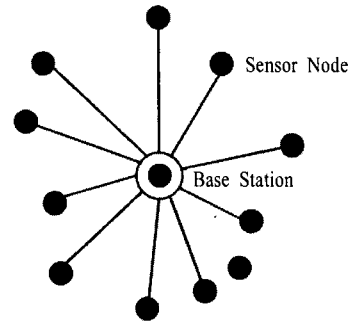
## 1.1 연구의 배경과 목적

무선으로 통신하는 센서네트워크는 센서네트워크 상에 존재하는 센서들을 통해 주변의 물리적인 정보를 수집하고, 수집된 데이터를 무선 인터페이스를 통해 싱크로 수집한다. 이렇게 수집된 데이터는 인터넷이나 셀룰러 등의 광대역 네트워크를 통해 원격지에 존재하는 서버나 사용자에게 전달된다(허재두 외[1]).

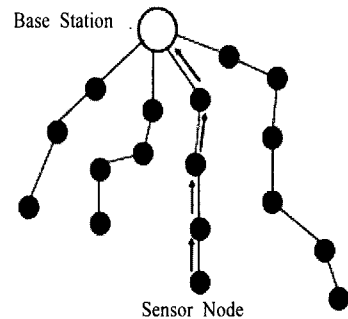
Ibriq[11]은 <그림 1>과 같이 세 모델을 비교 설명하였는데, 각각의 센서가 Base station으로 직접 메시지를 전송하는 (a) One-hop model(Direct transmission), 여러 단계의 노드를 거쳐 Base station으로 정보를 전달하는 (b) Multi-hop model, 클러스터 헤드를 중심으로 센서 노드들을 그룹핑하여 정보를 전달하는 (c) Cluster-based hierarchical model 이 있다.

One-hop model은 매우 간단한 설계이지만 센서와 Base station 사이의 긴 거리 때문에 매우 많은 전력을 소비하게 된다. 또한, 거리가 매우 떨어져 있을 경우 실제로 센서 노드와 Base station을 연결할 수 없는 경우도 발생할 수 있다.

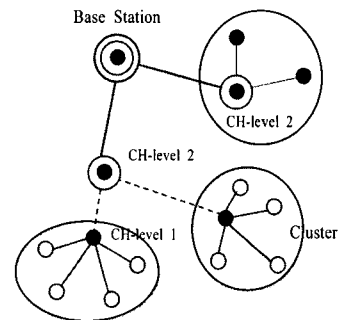
Multi-hop model은 한 센서 노드에서 여러 센서 노드를 거쳐 Base Station 노드에 도달하게 되는데 이 모델은 높은 지연(latency)이 발생할 수 있다. 다음 논문들은 이 모델을 적용하여 최적 설계하였다. Ahn and Ramakrishna[2]은 인터넷과 모바일 Ad-hoc 네트워크에서 유전자알고리즘을 사용한 라우팅 알고리즘 제안하였는데 동적인 네트워크 변동 상황에서 아주 짧은 시간 내에 최적 라우팅 경로를 제시 할 수 있다고 설명하고 있다. Iyengar et al.[12]은 동적으로 상황에 적응할 수 있는 효율적이고 강건성(robustness)이 높은 라우팅 방법을 개미알고리즘을 사용하여 제안하였으나 구체적인 적용 및 시뮬레이션 결과는 제시하지 않았다. Sim and Sun[16]은 라우팅과 로드 밸런싱을 위한 개미



(a) One hop model(Direct transmission)



(b) Multi-hop model



(c) Cluster-base hierarchical model

<그림 1> 라우팅 모델의 종류(Ibriq, 2004)

군 최적화 방법을 설명하였다. 이 논문에서는 기존 라우팅방법과 개미군 최적화방법을 비교하면서 개미알고리즘의 페로몬 관리 등의 적용 방법에 대하여 서술하였다. Liao et al.[15]과 Ding and Liu[3]은 개미군 최적화방법을 적용하여 무선 센서 네트워크에서의 데이터 수집(data aggregation) 문제를

해결하고자 했다.

Ibriq[11] 논문에 따르면 Cluster-based hierarchical model은 클러스터 헤드에서 데이터를 수집하기 때문에 Multi-hop model과 비교했을 때 지연(latency)을 줄일 수 있다. 이런 결과로 이 모델은 시간적 제약이 따르는 적용 분야에 빠르게 정보를 전달할 수 있고 다른 두 모델들과 비교하여 가장 이상적이라고 서술하고 있다. 본 논문에서는 Cluster-based hierarchical model에서 base station인 sink에서 클러스터 헤드에 one-hop으로 연결되고 동일한 종류의 센서 노드들이 가장 가까운 클러스터 헤드에 one-hop으로 연결되는 구조를 사용하여 최적 설계를 하고자 한다.

Cluster-based hierarchical model의 각 센서에서 수집한 모든 데이터는 Sink 또는 데이터 수집 장치로 전송되어야 한다. 이 때, 통신 거리가 길어질수록 데이터를 전송하는 동안 더 많은 에너지를 소비하게 된다. k-bits 메시지를 일정 거리(d)만큼 전송하는데 소비되는 에너지의 양을 아래 식 (1) 같이 표현할 수 있다.  $E_{elec}$ 은 무선 통신으로 인한 에너지 소비이며,  $E_{amp}$ 은 전송되는 증폭기의 에너지 소비를 뜻한다. 즉, 거리가 커질수록 에너지 소비가 커지게 되는 것이다(Heinzelman[11]).

$$E(k, d) = E_{elec} * k + E_{amp} * k * d^2 \quad (1)$$

Heinzelman[9]은 클러스터링 모델인 LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)를 제안하였다. 같은 종류의 센서 노드들에 대해 짧은 전송 거리의 이점을 위한 수단으로 전송되는 데이터 수집 기능을 가진 클러스터헤드(Cluster-head)를 사용한다. 클러스터헤드만이 Base station과 통신하게 된다. 클러스터 헤드는 데이터를 수집하여 곧바로 sink로 보내게 된다. 클러스터링은 대부분의 노드들이 데이터를 가장 가까운 클러스터 헤드로 보내기 때문에 통신비용을 감소시킬 수 있다.

Jin[13]의 논문에 따르면, 클러스터 헤드의 수와 위치를 결정하는데 있어 이용 가능한 모든 경우의

수는 각 노드가 클러스터 헤드인가 아닌가(해를 1과 0으로만 표현)를 결정해야 함으로 100개 센서 노드를 가진 센서 네트워크인 경우  $2^{100}$ -1이라고 서술하고 이 NP-hard 클러스터링 문제를 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 이용하여 최적화하고자 했다. Ferentinos and Tsiligiridis[8, 9]은 센서 네트워크를 농업분야에 적용하여 유전자알고리즘을 사용하여 최적설계를 하고자 하였다. 특히, 평가함수를 적용분야(application-specific), 연결(connectivity), 에너지(energy) 관련 파라미터로 분류하여 구성하려고 하였다. 너무 많은 파라미터들을 한 번에 고려하려는 의도 때문에 평가함수가 복잡해져서 오히려 분석이 정확히 되지 못하는 경향이 있다. Hussain[10]도 유전자알고리즘을 사용하고 평가함수에 추가적인 파라미터를 사용하여 Jin[13]의 결과를 개선하려고 시도하였으나 더 좋은 결과에 대한 검증이 불확실하다. Kannan[14]도 두 단계의 Simulated annealing 방법을 사용하여 ad-hoc 무선 센서 네트워크를 최적화하고자 했다.

본 논문의 목적은 무선 센서 네트워크의 효율적인 에너지 소비와 네트워크의 수명을 연장하기 위해(총 전송 거리와 클러스터링의 최적 설계를 위해) 클러스터 헤드의 최적의 수와 위치를 결정하는 클러스터링(Base station인 sink에서 클러스터 헤드에 one-hop으로 연결되고 동일한 종류의 센서 노드들이 가장 가까운 클러스터 헤드에 one-hop으로 연결되는 cluster-base hierarchical model 구조) 최적 설계를 하는 것이다. 이와 같이 무선 센서 네트워크 최적설계를 위하여 최근에 정보와 통신 기술 및 시스템에 많이 사용되고 있는 개미군 최적화 방법(Dorigo, et al.[4]~[7])을 적용 하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 개미군 최적화 방법과 같은 휴리스틱알고리즘을 사용함으로써 무선센서 네트워크 환경이 변경되더라도 주어진 제한된 시간 내에 최적해/최선해를 탐색해 낼 수 있다.

본 논문의 2절에서는 해의 표현, 평가함수, 센서 네트워크의 클러스터링을 위한 개미군 최적화 방법에 대하여 설명하고 3절에서는 100, 200, 400 노

드 네트워크 문제를 사용하여 제안하는 방법의 성능을 분석 검증하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 클러스터링 설계를 위한 개미군 최적화 방법

<그림 2>는 무선센서 네트워크 클러스터링 설계 문제에 개미군 최적화 방법을 적용했을 때의 흐름도를 나타낸 것이다. 본 논문의 목적은 Sink 노드와 연결되는 클러스터 헤드의 수와 위치, 다른 센서 노드가 어떤 클러스터 헤드에 연결되는지를 결정하는 것이다. 초기 가능해군을 생성하기 위하여 개체 수만큼의 개미를 준비 시킨다. 한 마리의 개미가 한 개의 해를 생성하므로 개미군 최적화 방법을 적용할 때 각각의 개미가 현재의 페로몬의 양과 현재의 선호도에 따른 클러스터헤드 선택 확률과 각 센서 노드에서 가장 가까운 클러스터헤드에 연결에 따라 해를 생성하게 된다.

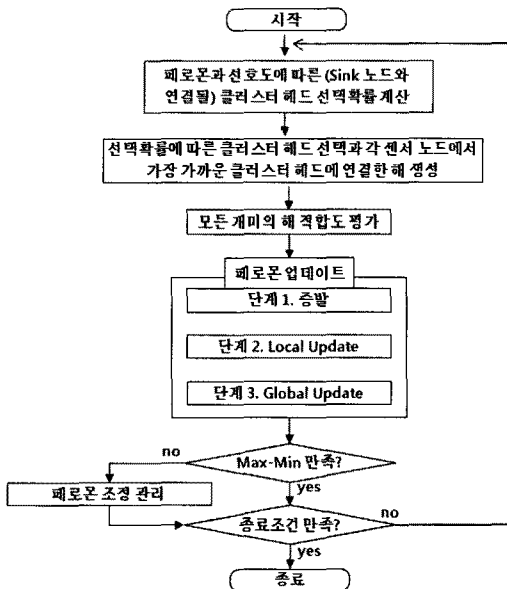
한 개미 당 해가 완성되면 그 해에 대한 로컬페로몬업데이트(local pheromone update)를 한다. 한

개미군의 모든 해가 완성되면 모든 해 중에서 가장 평가 값이 좋은 해에 대하여 글로벌페로몬업데이트(global pheromone update)를 한다(Dorigo and Stutzle[6]). 이 페르몬 업데이트 과정은 2.3절에서 자세히 설명하였다. 모든 페로몬 업데이트 후 페로몬 최대치 Max와 최소치 Min에 따라 페로몬을 조정 관리하는 2.4절의 Max-Min 전략을 적용하게 된다(Stutzle[17]). 이 과정을 거친 후 종료조건을 만족하게 되면 종료하게 되고 그렇지 않으면 위 과정을 반복 적용하게 된다.

#### 2.1.1 해의 표현과 평가함수

해의 표현은 <그림 3>과 같이 각 노드(일반 센서)의 번호와 각 노드가 연결된 클러스터 헤드의 번호로 표현하였다. 즉, 4, 7, 10, 12번 노드가 클러스터 헤드가 되고, 클러스터 헤드는 Sink와 연결되어 데이터를 전송하게 되므로 Sink노드의 인덱스인 0번을 할당 받게 된다. 클러스터 헤드 이외의 노드들은 자신의 위치에서 가장 가까운 곳에 위치한 클러스터 헤드와 연결 된다. <그림 3>에서 보는 것과 같이 1, 2, 3, 5번 노드는 4번 클러스터 헤드에 연결 되고, 6, 8번 노드는 7번 클러스터 헤드, 9, 14번 노드는 10번 클러스터 헤드, 11, 13, 14번 노드는 12번 클러스터 헤드에 연결 된다.

이러한 해의 표현은 센서 네트워크 문제를 유전자 알고리즘으로 적용한 Jin[15]의 논문에서 표현한 방법(<그림 4>) 보다 해의 해석 측면에서 더 용이하다. 해 표현은 각 센서 노드가 클러스터 헤드인지 아닌지를 '0'과 '1'로 단순히 표시 할 수 있



<그림 2> 개미군 최적화 방법의 수행 절차

Number of sensor	0 (Sink)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Linked cluster head	0	4	4	4	0	4	7	0	7	10	0	12	0	12	10	12

<그림 3> 가능해의 예

0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

<그림 4> 유전자 알고리즘의 가능해의 예(Jin[15])

을 뿐, 어떤 센서 노드가 어느 클러스터 헤드에 연결되었는지 확인 할 수가 없다.

본 논문에서는 Jin[13]이 제안한 식 (2)와 같은 평가 함수를 사용하였다. 식 (2)에서 TD는 초기에 모든 센서가 Sink와 연결되어 있을 때의 총 거리가 되고 N은 모든 노드의 수이다. 인덱스  $i$  는  $i$  번째 클러스터링 해를 나타낸다. 즉,  $d_i$  는  $i$  번째 클러스터링 해가 결정되었을 때의 총거리를 나타내고 그 때의 클러스터 헤드의 수를  $H_i$  로 나타낸다. 본 논문에서는 가중치( $w$ )를 0.7로 사용하여 총 거리를 줄이는데 더 많은 비중을 두었으나 파라미터 값은 평가 중요도에 따라 조정될 수 있다. 즉, 식 (2)의 평가 값을 최대화 하는 것이 총 전송 거리를 줄이면서 가능하면 클러스터 헤드를 줄이는 것이다.

$$\begin{aligned} \text{Maximize Fitness} = & \quad (2) \\ w * (TD - d_i) + (1 - w) * (N - H_i) \end{aligned}$$

### 2.1.2 개미의 선호도와 클러스터 헤드 선택 확률

개미군 최적화 방법의 적용절차에 맞게 설정하기 위해서는 먼저 출발 노드와 도착 노드를 잡아주어야 한다. 본 논문의 무선 센서 네트워크에서 각 센서가 클러스터 헤드인가, 아닌가를 결정해야 함으로 출발 노드는 첫 번째 센서 노드이고 도착 노드는 마지막 센서 노드가 된다. 개미는 출발 노드에서부터 페로몬 양과 선호도를 고려한 확률에 따라 센서 노드가 클러스터 헤드인지 아닌지를 결정하고 다음 센서 노드로 이동을 하게 된다. 노드의 선택확률을 계산할 때 식 (3)의 선호도 ( $n_{ik}$ )를 적용한다. 선호도  $d_{ok}$ (Sink 노드에서 센서 노드까지의 거리)로 나타낸 후 역수로 계산하였다. 즉, Sink 노드와 센서 노드간의 거리가 클수록 센서 노드  $k$ 가 클러스터 헤드가 될 수 있는 선호도는 감소한다.

$$n_{ok} = \frac{1}{d_{ok}} \quad (3)$$

센서 노드  $k$ 가 클러스터 헤드가 되는 정도를 나타

내는 페로몬( $\tau_{ok}$ )은 증발과 업데이트가 계속 반복적으로 이루어져야 한다. 초기 페로몬이 0일 경우 증발과 업데이트가 이루어질 수 없기 때문에 가상의 초기 페로몬을 각 노드 간에 일정하게 적용시켜준다.

식 (4)는 개미가 Sink 노드에서 센서노드  $k$ 를 클러스터 헤드로 선택할 확률을 나타낸다. 개미가 클러스터 노드를 확률적으로 선택함으로써 전역해 또는 전역해의 근접해 등을 다양하게 탐색하기 때문에 세대가 진행될수록 전역 해를 탐색해 낼 수 있는 확률이 높아지게 된다.  $M$ 은 개미가 클러스터 노드로 선택할 수 있는 센서 노드의 집합을 의미한다. 센서 노드  $k$ 가 클러스터 헤드가 되는 정도를 나타내는  $\tau_{ok}$ 는 해당하는 페로몬(pheromone)양을 나타내고  $n_{ok}$ 는 센서 노드  $k$ 가 클러스터 헤드가 되어 Sink 노드와 연결되는 것이 좋은지를 나타내는 척도인 선호도를 나타낸다.  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 페로몬과 선호도 각각에 대한 가중치를 나타낸다.

$$P_{ok} = \frac{[\tau_{ok}]^\alpha * [n_{ok}]^\beta}{\sum_{j \in M} [\tau_{oj}]^\alpha * [n_{oj}]^\beta} \quad (4)$$

### 2.1.3 페로몬 업데이트

센서 노드가 클러스터 헤드가 되는 정도를 나타내는 페르몬의 양은 페르몬 증발, 로컬 업데이트, 글로벌 업데이트 3단계로 다음과 같이 이루어진다.

#### (1) 페르몬의 증발

페로몬 증발은 기존 페로몬 양의 일부를 감소시키는 것으로 과거의 페로몬을 통한 정보가 현재나 앞으로의 정보에 비하여 정확도가 상대적으로 떨어지기 때문에 과거 정보의 비율을 줄이는 역할을 한다. 이것은 또한 일부 특정 해에 대한 페로몬의 기하급수적인 증가를 방지하며 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\tau_{ok}(t+1) = (1 - \rho) * \tau_{ok}(t), \quad 0 \leq \rho < 1 \quad (5)$$

$\rho$ 는 증발률,  $\tau_{ok}(t)$ 는  $t$ 시점에서 Sink 노드  $o$ 와

센서 노드  $k$ 가 연결되는 클러스터 헤드가 되었을 때의 페로몬의 양,  $\tau_{ok}(t+1)$ 는  $t+1$ 시점에서 Sink 노드  $o$ 와 센서 노드  $k$ 가 연결되는 클러스터 헤드가 되었을 때의 페로몬의 양을 나타낸다.

### (2) 로컬 업데이트를 위한 페로몬 추가

개미가 모든 노드에 대한 확률적인 선택을 완료하게 되면 개미가 생성한 해의 값(Sink 노드에서 선택된 클러스터 헤드까지의 거리와 클러스터 헤드와 각 센서까지의 거리의 합과 클러스터 헤드의 수로 평가한 값, 즉 식 (2)의 적합도)을 구할 수 있게 된다. 페로몬 증가는 이 구해진 평가 값에 따라 페로몬 양을 업데이트 하는 것으로 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.  $S_j$ 는  $j$ 번째 개미의 해의 집합,  $L_j$ 는  $j$ 번째 개미의 평가 값,  $Q$ 는 페로몬 업데이트 상수,  $move(o, k)$ 는 Sink 노드  $o$ 가 센서 노드  $k$ 를 클러스터 헤드로 선택하여 이동하는 것을 나타낸다.  $\Delta\tau_{ok}^j$ 는  $j$ 번째 개미가 Sink 노드  $o$ 로부터 센서 노드  $k$ 를 클러스터 헤드로 선택했을 때 경로( $o, k$ )에 뿌려주는 페로몬의 양을 나타낸다.

$$\tau_{ok}(t+1) = \tau_{ok}(t) + \Delta\tau_{ok}^j \quad (6)$$

$$\Delta\tau_{ok}^j = \begin{cases} L_j \times Q, & \text{if } move(o, k) \in S \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

### (3) 글로벌 업데이트를 위한 페로몬 추가

엘리트 전략(elitist strategy)은 1세대에서 현재 세대까지의 각 세대의 가능해들 중에서 평가값이 가장 우수한 가능해에 대하여 추가적인 페로몬을 업데이트 하는 것으로 수렴성을 강조하기 위하여 사용한다. 엘리트 전략은 식 (7)와 같이 표현할 수 있다.

$S_{globaloptimal}$ 는 평가 값이 가장 우수한 해,  $L_{globaloptimal}$ 은 가장 우수한 해의 평가 값,  $\sigma$ 는 엘리트 가중치를 나타낸다.  $\Delta\tau_{ok}^*$ 는 평가 값이 가장 좋은 개미가 Sink 노드  $o$ 로부터 센서 노드  $k$ 를 클러스터 헤드로 할당되었을 때 경로 ( $o, k$ )에 뿌려주는 페로몬의 양을 나타낸다.

$$\tau_{ok}(t+1) = \tau_{ok}(t) + \sigma \times \Delta\tau_{ok}^* \quad (7)$$

$$\Delta\tau_{ok}^* = \begin{cases} L_{GlobalOptimal} \times Q, & \text{if } move(o, k) \in S_{GlobalOptimal} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

### 2.1.4 Max-Min 전략을 통한 페로몬 조정관리

전술한 업데이트 과정을 통하여 세대가 진행함에 따라 개미가 더욱 좋은 해를 구성하도록 도와주게 된다. 그러나 일정세대가 지나면 페로몬의 지나친 집중으로 인해 다양한 해를 탐색하지 못하고 센서 네트워크 문제의 해가 일정한 형태를 유지하며 급속도로 수렴하게 되는데 이를 막기 위해 Stutzle[19]가 제안한 Max-Min 전략(누적 페로몬 양의 최소값과 최대값을 정하는 것)을 사용하였다.

페로몬 업데이트 후 페로몬 행렬에 존재하는 값 중 하한치인 초기에 정한 Min 값보다 작거나 상한치인 Max 값보다 큰 페로몬을 Min 과 Max 값으로 조정한다. 이는 다음세대의 개미가 센서 노드를 확률적으로 클러스터 헤드를 선택 할 때 페로몬이 일정한 센서 노드로만 집중되는 것을 막아서 해의 다양성을 강조할 수 있다.

## 2.2 실험 및 결과 분석

본 절은 센서 네트워크의 클러스터링 문제를 적용시킨 실험 결과에 대해 분석하였다. 실험은 100개, 200개, 400개 노드들에 대한 네트워크를 생성하여 진행하였다. 또한, Sink 노드를 각 네트워크의 원점(0, 0)과 중앙에 위치시켜 결과를 비교 분석하였다.

실험을 할 때, 개미군 최적화 방법 적용을 위해 다음과 같은 초기 파라미터의 값을 사용하였다. 한 세대에 참여하는 개미 수는 10마리로 하여 10개의 해를 생성한다. 식 (3)의 선호도는 Sink  $o$ 에서 센서  $k$ 까지의 거리  $d_{ok}$ 의 역수를 사용하였고, 식 (4)의 초기 페로몬양은 0.05, 페르몬 가중치는  $\alpha$ 는 1, 선호도 가중치  $\beta$ 는 0.05를 사용하였다. 식 (5)의 증발률  $\rho$ 는 0.001, 식 (6)의 페르몬 업데이트 상수  $Q$ 는 0.001, 엘리트 가중치  $\sigma$ 는 5를 사용하였다.

Index	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
X	0	35	81	73	44	52	84	39	20	66	71	23	28	7	83	95	82	18	65	40	87	75	3	63	47
Y	0	67	17	81	70	-1	91	14	44	72	7	70	79	61	4	34	35	95	76	2	31	17	87	18	54

Index	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
X	75	74	76	85	59	10	97	74	53	74	-9	4	85	36	66	20	34	29	59	56	11	17	91	33	42
Y	63	91	87	64	3	91	46	18	53	41	41	64	49	7	41	88	29	27	90	30	1	38	95	30	64

Index	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
X	29	44	3	65	7	51	96	22	58	12	58	93	30	27	73	7	64	12	45	24	62	84	78	4	55
Y	10	7	31	11	38	79	19	22	69	47	68	44	49	65	89	6	83	10	27	97	49	13	32	97	70

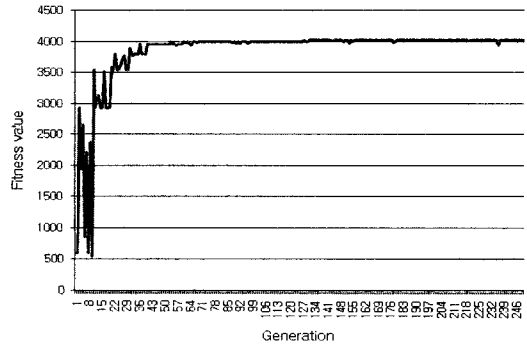
Index	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
X	37	19	26	17	76	5	37	32	15	7	76	45	35	83	65	45	11	52	67	57	92	50	63	12	25
Y	64	93	61	99	56	99	17	46	14	73	32	15	10	75	98	30	4	43	66	51	45	67	62	67	33

<그림 5> 센서의 위치(100개 노드, Sink 노드(0, 0) 포함)

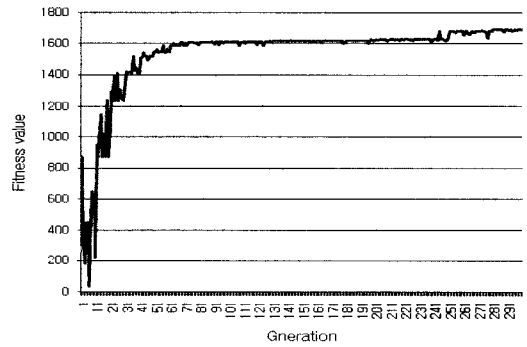
Max-Min 전략을 위해  $\tau_{max}$ 는 10,  $\tau_{min}$ 은 0.0001을 사용하였다.

본 논문은 각 노드의 위치를 임의의 난수를 발생시켜 초기 데이터를 생성하였다. 100개의 노드 (Sink 노드 포함)인 경우 각 노드의 X좌표와 Y좌표에 대하여 임의로 1부터 99까지 발생시켰고 모든 노드들은 중복되는 위치가 없도록 했다. <그림 5>는 100개 노드에 대해 센서들의 위치를 임의로 할당한 그림이며, 본 논문에서 사용된 초기 데이터이다.

100개 노드에 대한 개미군 최적화 방법의 적용 결과는 <그림 6>과 같은 수렴과정이 뚜렷하게 나타났다. <그림 6>의 (a)에서 보는 것과 같이 Sink 노드가 (0, 0)일 때의 실험 결과를 보면 평가 값은 4049.742가 나왔으며, 클러스터링 이전의 Direct transmission(One hop model)으로 했을 때 총 거리(TD) 7617.7852가 클러스터링 이후 총 거리( $d_c$ ) 1870.582로 줄어 든 것을 볼 수 있다. 또한 클러스터헤드의 수도 Direct transmission(One hop model)으로 했을 때 100개에서 11개로 감소되는 결과를 얻을 수 있었다. <그림 6>의 (b)와 같이 Sink 노드가 (50, 50)일 때의 실험결과는 평가 값 1690.54, 클러스터링 이전의 총 거리(TD) 3771.903이 계산되었으며 클러스터링 이후 총 거리( $d_c$ ) 1391.978로 줄어 든 것을 볼 수 있다. 또한 클러스터헤드의 수는100개



(a) Sink 노드가 원점 (0, 0)인 경우



(b) Sink 노드가 중앙점 (50, 50)인 경우

<그림 6> 100개의 노드 무선 센서 네트워크에서 평가 값의 수렴과정

에서 18개로 줄어들었다. 즉, Sink 노드가 (0, 0)일 때 전송 거리에서 75.445%의 감소를 보였고, 클러스터 헤드가 차지하는 비율은 11%이다. 그리고 Sink 노드가 (50, 50)일 때는 전송 거리에서 63.096%, 클러스터 헤드의 수는 82%의 감소 효과를 볼 수 있었다.

<그림 7>, <그림 8>의 (a)와 (b)는 100개의 노드 무선 센서 네트워크의 최적 결과인데, 클러스터 헤드가 몇 개이고, 어디에 위치하는 지, 각 센서가 어떤 클러스터 헤드에 할당되었는지를 보여준다. Sink 노드가 (0, 0)인 경우를 보면 클러스터 헤드는 4(44, 70), 8(20, 44), 13(7, 81), 25(75, 69), 26(74, 91), 33(58, 50), 42(29, 27), 44(56, 30), 57(82, 22), 65(7, 6), 81(37, 17)번 노드가 선택되었다. Sink 노드가 (50, 50)인 경우를 보면 클러스터 헤드는

Index	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Cluster	0	4	57	26	0	33	26	81	0	25	57	13	4	0	57	57	57	13	25	81	57	13	44	33	

Index	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Cluster	0	0	26	25	81	13	57	0	33	33	13	57	81	33	13	42	0	26	0	65	8	26	42	4	

Index	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
Cluster	81	81	8	57	8	4	57	0	4	8	4	57	8	4	26	0	26	65	44	13	33	57	57	13	4

Index	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Cluster	4	13	8	13	25	13	0	8	65	13	57	81	57	25	26	44	65	33	25	33	57	4	25	13	57

(a) Sink 노드가 원점 (0, 0)인 경우 클러스터링 최적 설계 결과

Index	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Cluster	0	40	57	0	96	0	3	50	62	3	23	75	40	84	57	99	99	40	3	50	99	23	84	0	0

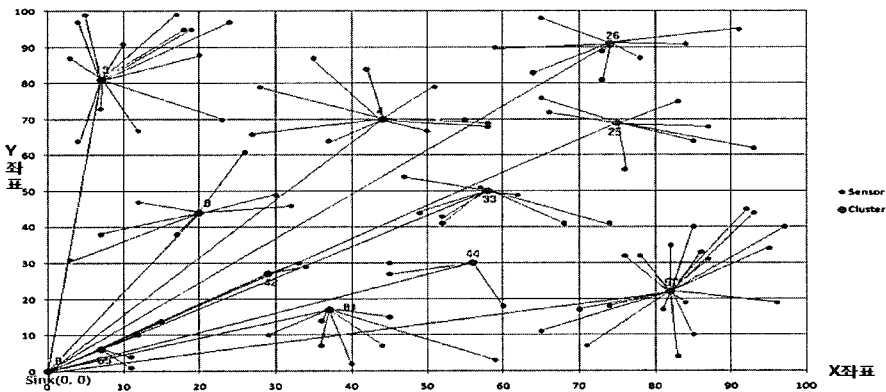
Index	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Cluster	3	3	3	79	23	40	99	57	0	39	5	84	99	50	0	0	0	41	3	5	65	54	3	41	96

Index	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
Cluster	0	50	54	23	0	96	57	0	96	34	96	99	0	75	3	0	3	65	41	40	33	57	99	40	96

Index	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Cluster	0	40	75	40	0	40	50	62	65	0	99	23	57	3	3	41	65	5	79	33	99	0	79	84	0

(b) Sink 노드가 중앙점 (50, 50)인 경우 클러스터링 최적 설계 결과

<그림 7> 100개의 노드 무선 센서 네트워크 최적/최선의 클러스터링 결과



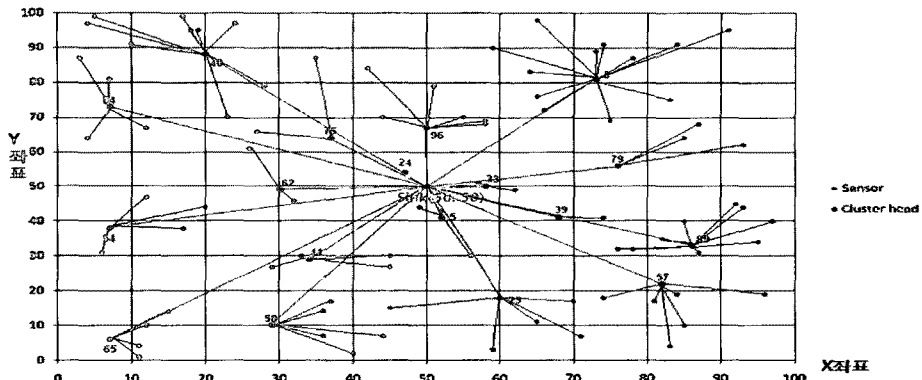
3(73, 81), 4(44, 70), 23(60, 18), 24(47, 54), 33(58, 50), 39(68, 41), 40(20, 88), 41(34, 29), 50(29, 10), 54(7, 38), 57(82, 22), 62(30, 49), 65(7, 6), 75(37, 64), 79(76, 56), 84(7, 73), 96(50, 67), 99(86, 33)번 노드가 선택되었다. 나머지 노드들은 선택된 클러스터 헤드들 중 가장 가까운 클러스터 헤드에 할당되었다. <그림 8>은 100개 노드의 무선 센서 네트워크 문제를 개미군 최적화 방법을 적용한 최적해 결과 그래프이다. <그림 8>의 (a)와 (b) 모두 원점과 중앙점의 sink를 중심으로 클러스터 헤드가 골고루 분포되어 있는 것을 알 수 있다.

<그림 9>는 200개 노드, <그림 10>은 400개 노드에 대하여 Sink 노드가 원점 또는 중앙에 위치해 있을 때 각 실험의 평가 값의 뚜렷한 수렴 형태를 나타내고 있다.

<표 1>은 센서 네트워크의 클러스터링 최적화 문제에 개미군 최적화 방법(ACO)을 적용한 결과와 CPLEX를 이용한 최적해를 나타낸 것이다. 본 논문에서 생성한 100, 200, 400개 노드의 데이터를 바탕으로 sink를 원점(0, 0)과 중앙점으로 한 결과이다.

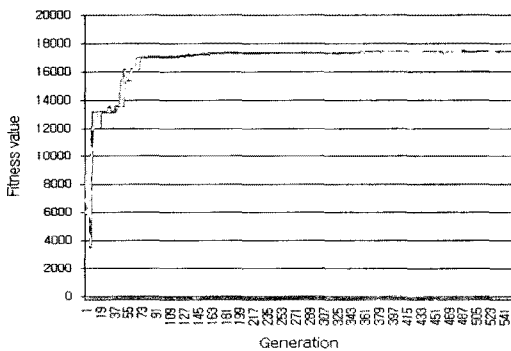
Jin[13]의 논문에 노드들의 위치에 대한 데이터가 제시되어 있지 않아 본 논문의 결과와 직접적인 비교는 불가능 했다. 그러나 Jin[15]이 제시한 클러스터 헤드가 차지하는 비율이 센서노드 100개인 네트워크에서 10~11%와 유사한 결과를 얻었으나



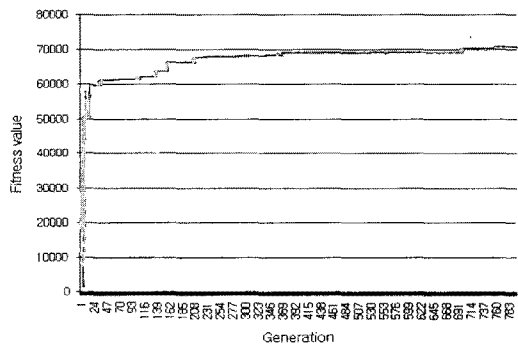


(b) Sink 노드가 중앙점 (50, 50)인 경우

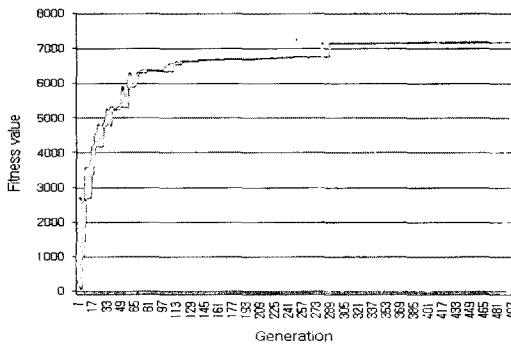
<그림 8> 100개의 노드 무선 센서 네트워크 최적/최선의 클러스터링 결과 위치 그래프



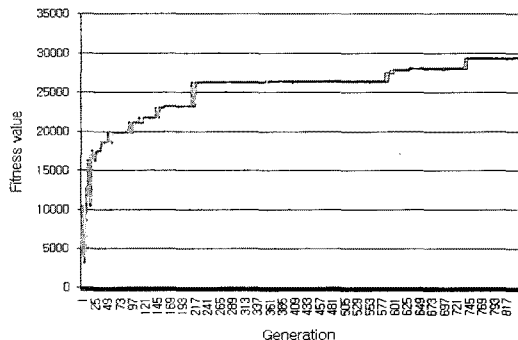
(a) Sink 노드가 원점 (0, 0)인 경우



(a) Sink 노드가 원점 (0, 0)인 경우



(b) Sink 노드가 중앙점(100, 100)인 경우



(b) Sink 노드가 중앙점 (200, 200)인 경우

<그림 9> 200개의 노드 무선 센서 네트워크에서 평가 값의 수렴과정

<그림 10> 400개의 노드 무선 센서 네트워크에서 평가 값의 수렴과정

노드 수가 400개일 경우 6%대로 감소하였다. 총 거리 감소비율은 Sink 노드가 (0, 0)일 때 Jin[15]

의 결과와 유사한 75~82%가 조사되었다. 100, 200, 400개 노드 모든 경우에서 sink 노드가 원점

〈표 1〉 100, 200, 400개 노드 무선 센서 네트워크 결과 비교 분석

노드수와 sink 위치	클러스터헤드수 (ACO)	클러스터헤드수 (최적해)	적합도값 (ACO)	적합도값 (최적해)	적합도값 편차율
100(0, 0)	11	11	4049.742	4159.24	2.633%
100(50, 50)	18	19	1690.548	1773.79	4.693%
200(0, 0)	17	17	17540.32	18033.5	2.735%
200(100, 100)	24	30	7258.13	7814.57	7.121%
400(0, 0)	24	28	70631.29	72969.7	3.205%
400(200, 200)	24	42	29436.68	34010	13.447%

일 경우 중앙점일 경우보다 적합도 값이 상대적으로 우수한 것으로 분석되었고 최적해에 가까운 값을 탐색할 수 있었다(최적해와의 편차율 2.6~3.2%).

### 3. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 클러스터링 최적 할당으로 센서 노드의 에너지 소비를 줄이고, 센서 네트워크의 수명을 연장하기 위해 최근에 정보통신기술 및 시스템 설계에 많이 적용되고 있는 개미군 최적화 방법을 제안하였다. 즉, 각 센서 노드들 중에서 Sink 노드와 연결되는 클러스터 헤드의 가장 적절한 위치와 개수를 결정하고 그 외 센서 노드들은 가장 가까운 클러스터 헤드에 할당하게 되는 것이다. 본 논문에서 제안하는 개미군 최적화 방법과 같은 휴리스틱알고리즘을 사용함으로써 무선센서네트워크 환경이 변경되더라도 주어진 제한된 시간 내에 최적해/최선해를 탐색해 낼 수 있다.

본 논문의 기여부분은 첫째, 기존 논문에서 제시하지 못한 최적해를 CPLEX를 활용하여 제시하고 ACO결과와 비교분석하였다. 둘째, 본 논문의 해의 표현방식은 노드수 만큼의 기억 장소에 클러스터 헤드의 위치와 개수 및 클러스터헤드와 연결되는 센서까지도 표현 가능하다. 따라서 본 논문이 제안하는 해 표현 방식이 기존 해 표현 방식보다 해를 해석하기 용이하다.

셋째, 기존 해 표현 방식은 클러스터헤드와 센서

연결 정보를 위한 추가적으로 기억장소가 필요하고 저장해야한다. 따라서 새롭게 제시하는 해 표현 방식은 컴퓨터의 기억 장소를 효율화하여 사용할 수 있으며 클러스터헤드와 센서의 연결 정보 탐색 시간을 상당부분 감소시킬 수 있다. 노드가 커질수록 효율성이 기하급수적으로 증대된다.

평가함수는 Sink 노드와 클러스터 헤드까지의 거리와 각 센서 노드와 클러스터 헤드까지의 거리를(클러스터 헤드의 수를 가능하면 적게 사용하면서) 최소화하고자 했다. 개미 알고리즘은 기본적인 로컬 및 글로벌 업데이트와 해의 정체(stagnation)를 방지하기 위해 Max-Min 전략을 적용하였다. 제안한 개미군 최적화 방법의 성능을 100, 200, 400 노드 무선 센서 네트워크에 적용하여 Sink 노드가 원점일 때와 중앙점일 때를 나누어 수렴성을 검증하고 최적해/최선해를 제시하였다. Sink 노드가 원점에 있을 때가 중앙점에 있을 때보다 더 좋은 적합도를 갖는 클러스터링 해를 탐색할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] 허재두, 최은창, 김동균, "센서네트워크 응용 기술 동향", 정보통신연구진흥원 포커스, 2008년 7월, p.10~20.
- [2] Ahn C. and Ramakrishna, R. "A genetic algorithm for shortest path routing problem and the sizing of populations," *IEEE Trans on evolutionary computation*, Vol.6, No.6

- (2002), pp.566-579.
- [3] Ding, N. and Liu, P., "Data Gathering Communication in Wireless Sensor Networks using Ant Colony Optimization," *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, August 22-26, (2004), Shenyang, China.
- [4] Dorigo, M. and Stutzle T., "The Ant Colony Optimization Metaheuristic : Algorithms, Applications, and Advances, Metaheuristics Handbook," Glover and Kochenberger (Eds.), *International Series in Operations Research and Management Science*, Kluwer, 2001.
- [5] Dorigo, M. and Stutzle T., "The Ant Colony Optimization, A Bradford Book," The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 2004.
- [6] Dorigo, M. and Gambardella, L.M., "Ant Colony System : A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem," *IEEE Trans. on Evolutionary Computation*, Vol.1(1997), pp.53-66.
- [7] Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colorni, A., "Ant System : Optimization by a Colony of Cooperating Agents," *IEEE Trans, on Systems, Man, and Cybernetics-Part B : Cybernetics*, Vol.26, No.1(1996), pp.29-41.
- [8] Ferentinos and Tsiligiridis, "Adaptive design optimization of wireless sensor networks using genetic algorithms," *Computer Networks*, Vol.51(2007), pp.1031-1051.
- [9] Heinzelman, Chandrakasa and Bajaramany, "Energy-efficient communication protocol for wireless micro-sensor networks," in Proceedings of the *Hawaii International Conference on System Sciences*, January 2000.
- [10] Hussain, Matin and Islam, "Genetic algorithm for hierarchical wireless sensor networks," *Journal of Networks*, Vol.2, No.5 (2007), pp.87-97.
- [11] Ibriq, J. and Mahgoub, Imad, "Cluster-based routing in wireless sensor network : Issues and Challenges," SPECTS' 04, 2004, pp.759-766.
- [12] Iyengar, S., Wu, H., Balakrishana, N. and Chang, S., "Biologically inspired cooperative routing for wireless mobile sensor networks," *IEEE systems Journal*, Vol.1, No.1 (2007), pp.29-37.
- [13] Jin, Zhou, and Wu, "Sensor network optimization using a genetic algorithm," in Proceedings of the 7th world Muticonference on Systemics, Cybernetics and Informatics, 2003.
- [14] Kannan, Mao and Vucetic, "Simulated annealing based wireless sensor network localization," *Journal of Computers*, Vol.1, No.2 (2006), pp.15-22.
- [15] Liao, W., Kao, Y, and Fan, C., "Data aggregation in wireless sensor networks using ant colony algorithm," *Journal of Network and Computer Applications*, Vol.31(2008), pp.387-401.
- [16] Sim, K. and Sun, W., "Ant colony optimization for routing and load-balancing : survey and new direction," *IEEE Trans on systems, man, and cybernetics*, Vol.33, No.5 (2003), pp.560-572.
- [17] Stutzle, T., "MAX-MIN Ant System for the quadratic assignment problem Technical Report AIDA-97-4," FG Intellektik, FB Informatik, TU Darmstadt, 1997.