

# Artificial Bee Colony 알고리즘을 적용한 Broadcast Scheduling 최적 설계

†김성수\* · 변지환\*

## Optimal Broadcast Scheduling Using Artificial Bee Colony

†Sung-Soo Kim\* · Ji-Hwan Byeon\*

### ■ Abstract ■

The basic objective of broadcast scheduling is to get the smallest length TDMA frame, where many nodes are allowed to transmit simultaneously in a single time slot in a conflict-free manner. The secondary objective is to maximize the number of such transmissions for maximum use of the channel. An Artificial Bee Colony (ABC) with ranking strategy is proposed in this paper for the broadcast scheduling problem. Our proposed method is very efficient for generating initial and neighbor feasible solutions. We can get the best number of time slots and transmission utilization comparing to previous researches.

Keywords : Artificial Bee Colony(ABC), Broadcast Scheduling Problem(BSP)

## 1. 연구의 배경 및 목적

본 논문의 목적은 무선통신 네트워크 TDMA (Time-division multiple access)방식을 적용한 패킷

라디오 네트워크(Packet radio networks, PRNET)에서 간섭(interference)현상 없이 최적의 broadcast 스케줄링을 하는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위한 broadcast scheduling problem(BSP)은 최소

논문접수일 : 2010년 10월 28일    논문게재확정일 : 2010년 12월 29일

\* 강원대학교 산업공학과

† 교신저자

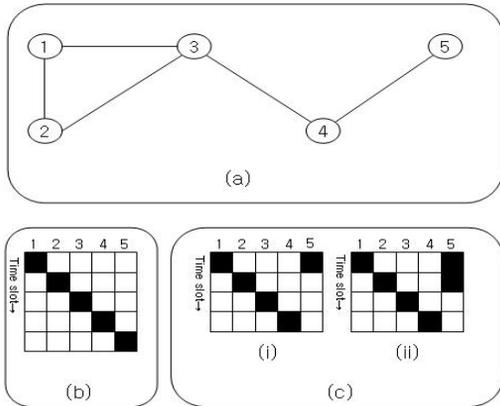
의 TDMA 프레임을 사용하고 타임슬롯(time slot)의 사용률을 최대화 하는 것이다. Ephremides[3]는 TDMA BSP 문제가 NP-complete 문제임을 증명하였고 다음과 같은 기존연구에서는 BSP 문제가 NP-complete라는 전제하에 다양한 알고리즘을 적용하여 효율적으로 최적 해를 탐색하고자 하였다.

Chakraborty[1]는 유전자 알고리즘을 적용하여 평가함수를 2단계(TDMA 프레임 최소화, 타임슬롯 사용률의 최대화)로 사용하였다[1]. 초기해 생성은 한 노드에 한 개의 타임 슬롯만을 할당할 수 있다는 조건하에 가능해를 생성하였지만, 교배와 돌연변이를 거치면서 가능해가 아닌 해를 생성하여 비효율성을 초래한다. Wu et al.[16]은 유전자 알고리즘을 사용하여 TDMA 프레임수에서 타임슬롯 이용률을 뺀 값을 최소화 하였다[16]. 이 논문에서는 해 탐색공간을  $2^{M \times N}$ 에서  $N!$ 로 감소시켰다고 서술하고 있으나 이것은 각 노드에 한 개의 타임슬롯만을 할당할 때에만 가능하다. TDMA BSP 문제에선 한 노드에 여러 타임슬롯을 할당할 수 있기 때문에 이들의 분석은 옳지 않다. Funabiki et al.[4], Wang and Shi[14]은 뉴럴네트워크를 사용하여 BSP 문제를 해결하고자 했다[4, 14]. Yeo et al.[17]은 BSP 문제를 풀기 위해 Sequential vertex coloring 알고리즘을, Wang and Ansari[13]은 Mean field annealing-based 알고리즘을 Chen et al.[2]은 Factor graphs와 Sum-product 알고리즘을 적용하여 BSP의 최적해를 탐색하고자 했다[2, 13, 17]. Mao, Wu, Wu[10]는 particle swarm optimization과 유전자알고리즘을 혼합하여 TDMA BSP문제를 풀고자 하였고 Wang, Wu, Mao[15]는 particle swarm optimization과 simulated annealing을 혼합하여 TDMA BSP 문제를 해결하고자 하였는데 이 결과가 PSO+유전자알고리즘보다 더 나은 결과를 냈다고 설명하고 있다[10, 15]. Shen and Wang[11]는 fuzzy Hopfield neural network(FHNN)을 사용하여 TDMA BSP 문제의 해를 제시하였으나 이 논문에서 제시한 해를 검증한 결과 가능해가 아님을 확인할

수 있었다[11]. Gunasekaran et al.[5]은 dynamic programming과 유전자알고리즘을 사용하여 BSP 문제를 해결하고자 하였다[5]. 이와 같이 TDMA Broadcast scheduling 문제는 최적해의 도출에 필요한 시간을 줄이고 보다 최적 해에 근접한 값을 제한된 짧은 시간에 얻어 낼 수 있도록 최근에도 연구가 지속적으로 이루어지고 있는 상황이다. 따라서 현재까지 개발된 방법보다 더 좋은 성능의 BSP 최적설계 알고리즘을 개발해야 한다. 본 논문의 제 4장의 실험과 분석을 통하여 본 논문에서 제안하는 방법과 기존 방법의 결과를 비교 분석하였다.

최근에 연구 개발된 Artificial Bee Colony(ABC)은 파라미터의 수가 적어 파라미터의 값을 설정하는 것이 수월하여 시행착오와 에러를 최소화할 수 있어 그 성능에 대하여 연구가 활발히 진행 중이다 [6, 7, 8]. 본 논문의 목적은 BSP 문제를 최적화하기 위해 일반적인 ABC 알고리즘과 Ranking 전략을 추가하여 개선한 ABC 알고리즘에 적용 비교 분석하고 최적해 또는 최선 해를 제한된 시간 내에 보다 빠르고 정확하게 탐색할 수 있는 BSP 최적설계 알고리즘을 개발 제안하는 것이다.

무선통신 TDMA 네트워크의 broadcast scheduling problem(BSP) 설계를 할 때 네트워크상의 모든 노드에 적어도 1개의 타임슬롯을 할당해야 한다. 또한, 각 노드와 직접적으로 연결된 노드와 2개의 호를 걸쳐서 갈 수 있는 노드에는 같은 타임 슬롯을 할당할 수 없다. 예를 들어 <Figure 1>(a)에 5개의 노드로 이루어진 무선통신 네트워크에서 1번 노드와 2번, 3번, 4번 노드는 같은 타임슬롯을 할당할 수 없으나, 1번 노드와 5번 노드는 같은 타임슬롯을 할당 할 수 있다. 이러한 제약조건을 만족하는 해는 <Figure 1>(b), <Figure 1>(c)와 같다. <Figure 1>(b)는 노드수  $N = 5$ 이고 타임슬롯  $M = 5$ 개로 <Figure 1>(c)보다 타임슬롯을 더 사용했기 때문에 상대적으로 적합하지 않은 해이다. <Figure 1>(c)에서 (ii)의 타임슬롯 사용률이 (i)의 사용률보다 높기 때문에 더 적절한 해라고 할 수 있다.



<Figure 1> (a) 5 node network example (b) Solution using five time slots (c) (i) Utilizations  $\rho_i = \frac{1}{4}$  (ii)  $\rho_{ii} = \frac{3}{10}$  using 4 time slots(Chakraborty[1])

## 2. BSP 평가함수와 제약식

본 장에서는 BSP 문제의 해 평가함수와 제한식은 Wang and Shi[14] 등 기존 논문들에서 제시한 것처럼 다음과 같이 설정할 수 있다. 목적함수인 평가함수는 먼저 사용되는 타임슬롯 수 M을 최소화해야 한다. 타임슬롯 사용률  $\rho$ 는 최소 타임슬롯 M을 전제로 최대화해야 한다. 따라서 본 논문에서의 평가함수는  $M-\rho$ 를 사용하였다. 노드 수는 N으로 나타낼 수 있고 제한식 등은 다음과 같이 타임슬롯 m을 노드 j에 할당할 것인지 말 것인지를 결정하는  $x_{mj}$ 를 Binary integer 의사결정 변수로 하는 Binary Integer Programming 문제로 나타낼 수 있다.

TDMA 네트워크 형태를 나타내는 N×N 대칭 노드연결 매트릭스 C와 그 요소인  $c_{ij}$

$$c_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{노드 } i \text{와 } j \text{가 인접해 있을 경우} \\ 0 & \text{인접하지 않은 경우} \end{cases} \quad (1)$$

각각의 노드를 같은 타임슬롯에 할당할 수 있는지를 나타내는 Compatibility 매트릭스 D와 그 요소인  $d_{ij}$

$$d_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{노드 } i \text{와 } j \text{를 같은 타임슬롯에 할당할 수 없는 경우} \\ 0 & \text{같은 타임슬롯에 할당할 수 있는 경우} \end{cases} \quad (2)$$

M×N 이진 매트릭스로 나타내는 가능해 매트릭스 X와 Binary integer 의사 결정변수인  $x_{mj}$

$$x_{mj} = \begin{cases} 1 & \text{타임슬롯 } m \text{을 노드 } j \text{가 할당 받은 경우} \\ 0 & \text{할당받지 않은 경우} \end{cases} \quad (3)$$

타임슬롯 사용률을 나타내는  $\rho$

$$\rho = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^N x_{mj} \quad (4)$$

한 개의 노드에 적어도 한 개의 타임슬롯을 할당해야 한다는 제약식

$$\sum_{m=1}^M x_{mj} \geq 1, \forall j \quad (5)$$

노드가 한 개 또는 두 개의 호로 연결되어 있는 것들은 같은 타임슬롯에 할당 할 수 없다는 제약식

$$\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{mi} \cdot x_{mj} \cdot d_{ij} = 0 \quad (6)$$

<Figure 1>의 해의 표현은 M×N으로 표현 할 수 있는데 M은 최대 N의 값을 가질 수 있다. 따라서 각각의 노드마다 각각의 타임슬롯을 할당 할 것인가 안 할 것인가를 결정해야 함으로 해의 탐색 범위는  $2^{M \times N}$ 이 되고 M과 N이 증가할수록 탐색 공간은 기하급수적으로 늘어나게 되고 최적해를 탐색하기 위한 계산 소요시간은 지수함수 형태로 늘어나게 된다. 이러한 NP-complete 문제는 보다 효율적인 휴리스틱 알고리즘을 개발하여 최적해 또는 최적해의 근접해를 빠른 시간 내에 탐색해 내야 한다.

## 3. ABC를 적용한 BSP 최적화 방법

Artificial Bee Colony Algorithm(ABC)은 2005년 이후부터 연구가 활발히 진행 중이다[6-8]. ABC 알

고리즘은 최적 해를 보장할 수는 없지만, 빠른 시간 내 또는 사용자가 제시하는 시간 내에 최적해/최선해를 제시할 수 있을 뿐만 아니라 다양한 문제를 보다 쉽게 적용하여 풀이할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 본 절에서는 NP-complete TDMA BSP 문제도 Binary Artificial Bee Colony Algorithm(BABC)를 적용하여 보다 수월하게 최적 설계하고자 한다. 제 3.1절에서는 BABC의 Food source인 해의 표현을, 제 3.2절에서는 BABC의 적용단계별 흐름도를 설명하였다. 제 3.3절에서는 본 논문에서 제안하는 ABC 방법을 적용할 때 초기해 및 이웃해 생성 방법을 설명하였다. 제 3.4절에서는 Ranking 전략을 추가 적용한 개선된 BABC를 제시하였다.

### 3.1 Food source 해의 표현

Broadcast scheduling 최적설계 문제에서 Food source해의 표현은 <Figure 1>(a) 5개 노드 네트워크에서 4개의 타임슬롯과 5개의 노드 수로 표현할 수 있는 <Figure 2>와 같은 2차원 행렬의 형태로 나타낼 수 있다. 해를 구성하는 모든 요소에 타임슬롯을 해당 노드에 할당하면 '1'로 표시하고 할당하지 않으면 '0'으로 표시한다. 실제로 할당 가능한 타임슬롯 수는 5개부터 가능하므로 5개의 노드에 할당 가능한 경우의 수(비 가능해 포함)는  $2^{25}$ 이다. 해의 제약 조건에 따라 타임 슬롯을 감소시켜 최소 사용 타임 슬롯하에 사용률을 최대화 하는 것이다.

	Node 1	Node 2	Node 3	Node 4	Node 5
Time slot 1	1	0	0	0	1
Time slot 2	0	1	0	0	1
Time slot 3	0	0	1	0	0
Time slot 4	0	0	0	1	0

<Figure 2> Solution Representation for Food Source for Five Node Network Using 4 Time Slots

### 3.2 BABC 적용 단계별 흐름도

ABC를 활용한 Binary ABC를 Broadcast scheduling 최적설계 문제에 적용하여 어떻게 최적해/최선해를 탐색해 낼 수 있는지 <Figure 3>과 같이 흐름도로 설명하였다.

단계 1에서는 Food source(해)의 수, 각 해의 이웃해를 찾는 역할을 하는 Employed bee의 수, 각 해의 평가값의 확률에 따라 추가적으로 이웃해를 찾는 Onlooker bee의 수는 모두 같으며 SN이라고 정한다. 또한, 각 해의 더 좋은 이웃해 탐색 최대수(Limit), 종료 조건(세대 수, 사용자가 제시한 시간제한 등)을 결정한다.

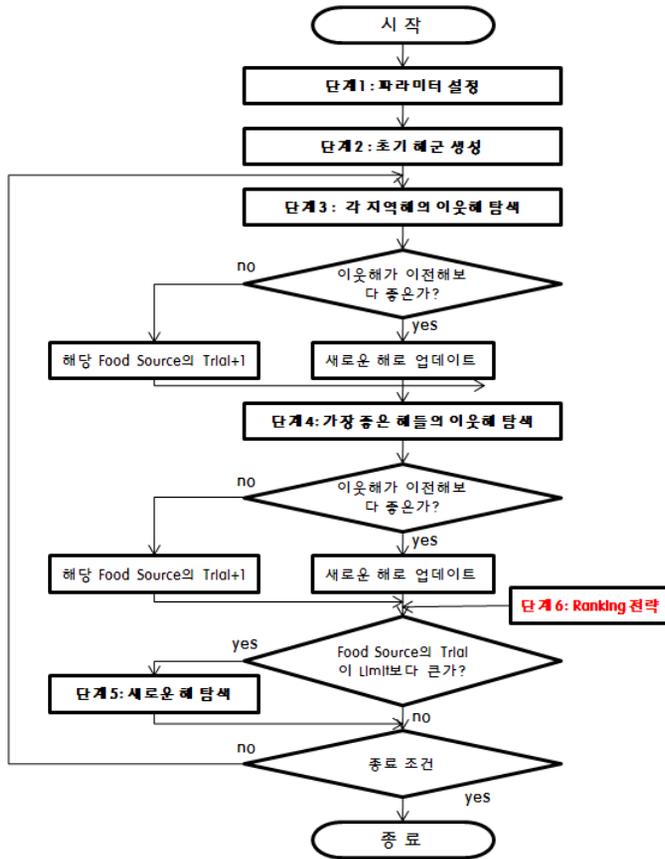
단계 2에서는 초기 가능해군을 생성하기 위하여 각 노드가 타임슬롯을 할당 되었을 때는 1, 아니면 0으로 하는 초기해(BABC에서 Food source)들을 생성하여 초기해 군을 생성한다.

단계 3에서는 각 초기 해에 대하여 Employed bee를 결정하고 각 초기 해들의 지역탐색을 위하여 이웃해를 탐색한다. 각 해에 대하여 더 좋은 해가 생성되면 더 좋은 해로 업데이트 하고 이웃해 탐색 시도 횟수 카운터 Trial을 0으로 설정한다. 그렇지 않을 경우 해당 Food source의 Trial의 횟수를 증가시킨다.

단계 4에서는 단계 3의 Employed bee에 의한 모든 해의 이웃해 탐색 후 갱신된 초기 해군의 모든 해를 사용하여 평가값( $i$ 번째 Food source의 평가값  $f_i$ )에 비례하는 확률 식 (7)로 해(Food source)를 선택하여 이 해의 이웃해와 비교하여 더 좋은 해가 생성되면 더 좋은 해로 업데이트 하고 이웃해 탐색 시도 횟수 카운터 Trial을 0으로 설정한다. 그렇지 않을 경우 Trial의 횟수를 증가시킨다. 이와 같은 전역해 탐색은 Onlooker bee가 수행한다.

$$\text{Food source } (i) \text{를 선택할 확률 } p_i = f_i / \sum_{n=1}^{SN} f_n \quad (7)$$

단계 5에서는 이웃해 탐색 시도 횟수 카운터 Trial 중 가장 큰 Food source의 Trial이 이웃해 탐색 최



<Figure 3> Flowchart of improved ABC using ranking strategy

대수 Limit보다 같거나 클 경우 해당 Food source 는 더 이상 탐색하지 않고 탈락 시킨다. 탈락시킨 해 수만큼의 해들을 Scout bee를 통하여 임의적으로 생성하여 지역 해에 빠지지 않고 다양한 해 탐색을 추구함으로써 전역 해를 탐색할 수 있도록 한다. 이 모든 단계 수행 후 종료 조건(세대 수, 사용자가 제시한 시간제한 등)에 맞으면 종료하고 그렇지 않으면 단계 3의 Employed bee의 이웃해 생성부터 다시 반복 수행한다.

### 3.3 초기해와 이웃해 생성 과정

<Figure 1>(a)의 5개노드 네트워크를 <Figure 3>과 같은 매트릭스 C 로 나타낼 수 있으며, 각 노드에 대하여 타임슬롯을 할당할 수 있을 때는 0 할

당할 수 없을 때는 1로 표시하여 <Figure 4>의 매트릭스 D로 표현할 수 있다.

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

<Figure 4> C and D Matrix for Five Node Network

초기해 생성시 네트워크 상의 모든 노드마다 적어도 한 개 이상의 타임슬롯을 할당하여야 하므로 랜덤하게 결정된 노드순서에 따라 각각 한 개의 타임슬롯을 배정하되, 이미 타임슬롯을 배정받은 노드를 고려하여 D매트릭스 상에서 1로 표시된 노드 관계에서는 같은 타임슬롯을 배정할 수 없도록 하였

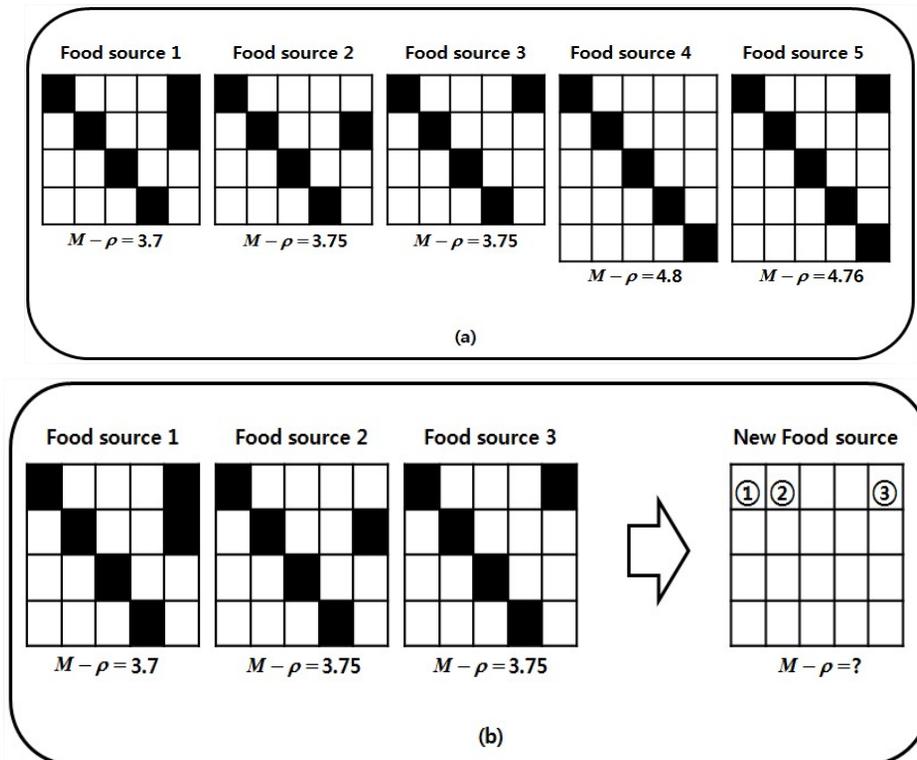
다. 즉, 각 노드와 직접적으로 연결된 노드와 2개의 호를 걸쳐서 갈 수 있는 노드에는 같은 타임슬롯을 할당할 수 없고 이 제약에 포함되지 않는 노드들은 추가적인 타임슬롯이 가능하게 함으로써 사용률이 높은 해를 초기해로 생성할 수 있도록 하였다.

이웃 가능해를 생성할 때도 각 노드에 대하여 타임슬롯을 할당할 수 있을 때는 0 할당할 수 없을 때는 1로 표시한 제한조건 매트릭스 D를 만족할 수 있도록 한다. 적합하지 않는 해를 생성하여 패널티 (penalty)를 주는 방법은 적용이 쉬우나 효율성이 떨어진다. 본 논문에서는 적합하지 않는 해를 생성하지 않는 다음과 같은 방법을 제안하였다. D매트릭스를 참조하여 먼저 할당 가능한 노드와 타임슬롯을 파악한다. 할당 가능한 노드와 타임슬롯을 파악한 후에는 현재 해를 확률적으로 변환시켜 가능 이웃해를 생성하였다.

### 3.4 Ranking 전략을 추가 적용한 BABC 개선

제 3.2절에서 설명한 일반적인 ABC는 <Figure 3>의 흐름도의 단계 5에서 Scout bee가 임의적인 방법으로 새로운 해를 탐색 하여 다양한 해 탐색을 할 수 있으나, 이러한 다양성 추구는 BABC 알고리즘의 적용하는데 있어서 후반에는 해를 집중적으로 탐색하여 해를 수렴시키는데 방해가 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 개선하기 위하여 단계 6을 적용하기 전에 Ranking 전략을 단계 5로 추가 적용하였다.

단계 6에서는 <Figure 5>와 같이 타임슬롯수가 같으면서 사용률이 우수한 해들을 미리 정한 수만큼 선택하고 Food source의 각 인자에 대하여 Sigmoid 함수의 확률을 적용하여 New Food source를 생성하여 투입하고 나쁜 해는 탈락시켜 수렴성



<Figure 5> (a) 5 Possible Feasible Solutions (b) New Solution Generation Using Three Solutions for Five Node Network

을 가속시키는 역할을 수행한다.

다시 말해서, 새로운 Food source(해)의 각 요소들은 평가값이 더 뛰어난 기존 해들의 요소들을 더 높은 확률로 선택하여 새로운 해를 생성하기 때문에 더 좋은 해를 생성할 수 있는 가능성이 높다. 다음은 Ranking 전략을 BABCO에 적용할 때 생성하는 New Food source 생성 방법을 설명하였다.

<Figure 5>(a)와 같이 5개의 Food source 중 평가함수 값이 가장 큰 Food source 4가 탈락 되고 <Figure 5>(b)의 과정으로 생성한 New Food source가 그 자리를 대신한다. New Food source의 해를 생성하기 위해 선택된 Food source 1, 2, 3의 ①, ②, ③ 위치에서 각 Food source의 평가값에 반비례하여 1이 되는 확률을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{①} : & \frac{\frac{1}{3.7} + \frac{1}{3.75} + \frac{1}{3.75}}{\frac{1}{3.7} + \frac{1}{3.75} + \frac{1}{3.75}} = 1 \\ \text{②} : & \frac{0}{\frac{1}{3.7} + \frac{1}{3.75} + \frac{1}{3.75}} = 0 \\ \text{③} : & \frac{\frac{1}{3.7} + \frac{1}{3.75}}{\frac{1}{3.7} + \frac{1}{3.75} + \frac{1}{3.75}} = 0.6682 \end{aligned}$$

이 0~1사이의 확률을  $v_{\min} = -4$ ,  $v_{\max} = 4$ 사이의 값(Liao et al.[9]이 제시 했듯이 일반적으로  $v_i(t+1)$ 의 범위는  $[-4, 4]$ 내로 함)으로 변환하여  $v_i(t+1)$ 을 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} v_{\text{①}}(t+1) &= 1 \times 8 - 4 = 4 \\ v_{\text{②}}(t+1) &= 0 \times 8 - 4 = -4 \\ v_{\text{③}}(t+1) &= 0.6682 \times 8 - 4 = 1.3456 \end{aligned}$$

이렇게 구한  $v_i(t+1)$ 을 Sigmoid 함수 식 (8)에 대입시키면 New Food source의 해의 ①, ②, ③노드의 위치에 타임 슬롯이 할당될 확률을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S(v_i(t+1)) = \frac{1}{1 + e^{-v_i(t+1)}} \quad (8)$$

$$P_{\text{①}} = S(v_{\text{①}}(t+1)) = \frac{1}{1 + e^{-4}} = 0.9820$$

$$P_{\text{②}} = S(v_{\text{②}}(t+1)) = \frac{1}{1 + e^4} = 0.0180$$

$$P_{\text{③}} = S(v_{\text{③}}(t+1)) = \frac{1}{1 + e^{-1.3456}} = 0.7934$$

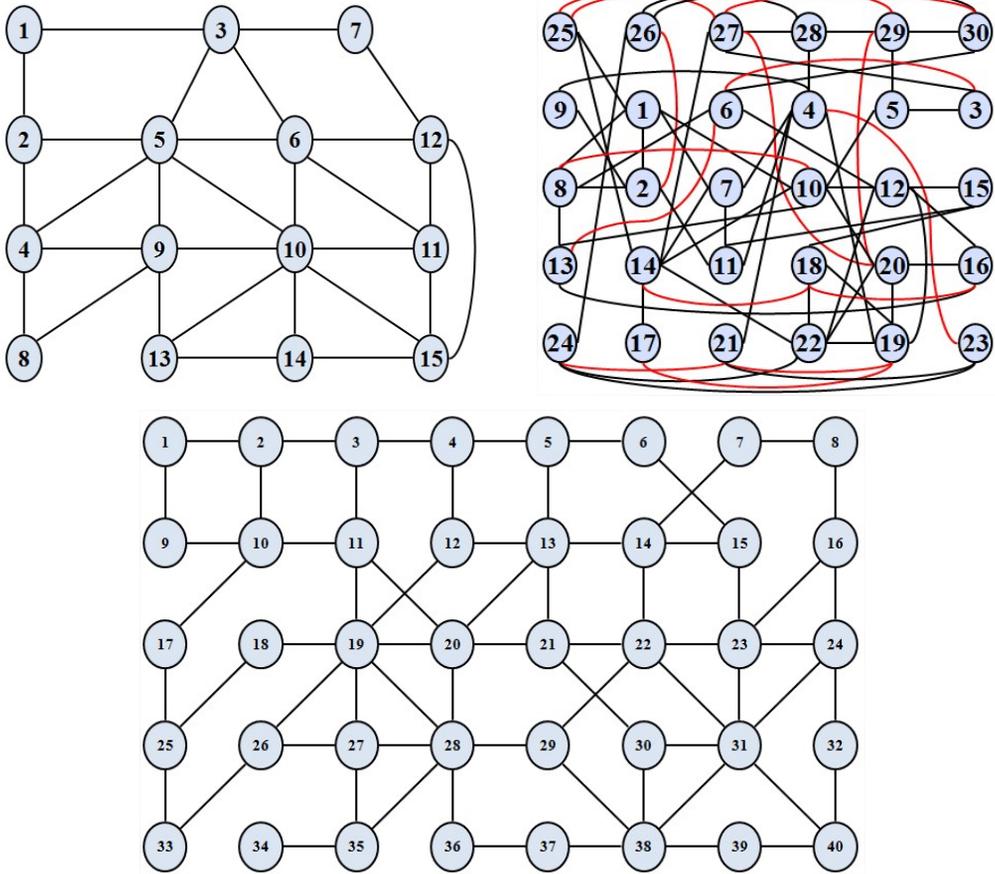
즉, New Food source의 ①은 98.2%, ②는 1.80%, ③은 79.34%의 확률로 타임 슬롯을 노드 1, 2, 5에 할당할 수 있는 Food source 해를 생성하게 된다.

## 4. 실험 결과 및 분석

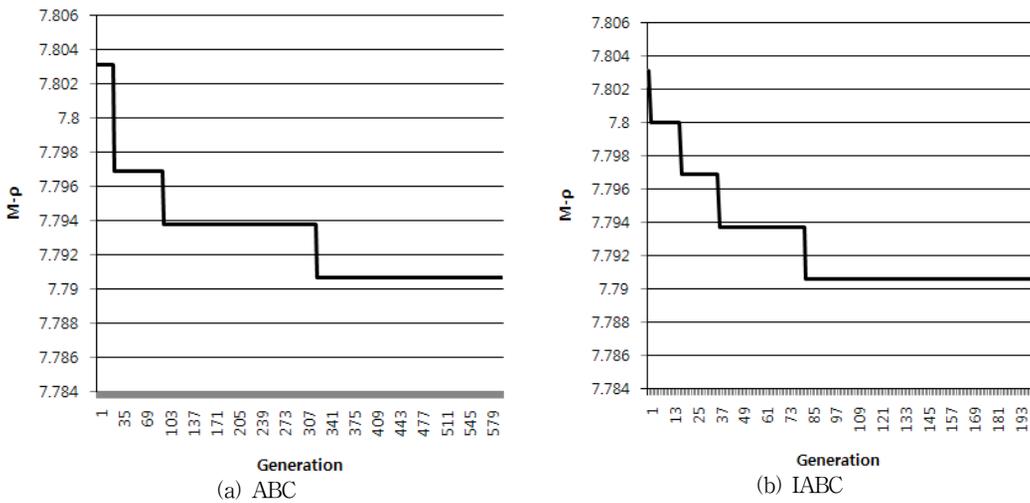
본 장에서는 제 3장에서 제시한 BSP 최적설계 방법을 검증하기 위해서 15, 30, 40개 네트워크 벤치마킹 문제에 제안하는 방법을 적용 실험하였다. 실험은 Intel(R) Core(TM)2 Quad CPU 2.33GHz, 400 GB RAM, 윈도우7 32비트 운영체제, Visual C++ 환경에서 실험하였다. 각각의 Food source의 수 SN은 10, 10 15개로 이웃해 탐색 최대수 Limit는 각각 15, 30, 100개로 실험을 통하여 설정하였으며, 모든 실험에서 이웃해 탐색에 이용되는 확률은 0.1로 설정하였다. <Figure 6>는 15, 30, 40개 노드의 네트워크 형태를 나타낸다.

<Figure 7>은 본 논문에서 40개 노드 네트워크에 BSP 최적설계 방법을 적용했을 때 평가함수(타임슬롯 수 M-타임슬롯 사용률  $\rho$ ) 값의 수렴 형태를 나타낸 것이다. 사용된 타임슬롯 수 M은 타임슬롯 사용률  $\rho$ 보다 상대적으로 큰 수이기 때문에 최소 M을 전제로  $\rho$ 를 최대화 시키는 수렴과정을 보인 것이다. <Table 1>은 40개 노드 네트워크에 ABC와 Ranking 전략을 사용한 ABC의 100회 실험을 통해 얻은 최적해 평가함수 값을 표시한 결과이다.

Ranking 전략을 적용한 ABC 방법이 기본적인 ABC 방법에 비하여 평균값이 낮아 더 좋은 결과를 제시할 수 있었다.



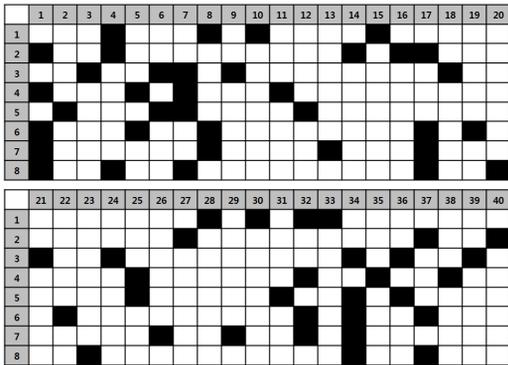
<Figure 6> The 15, 30, 40 Node Network Example



<Figure 7> Trend of M-p of 40 Node Network when Generation is Increasing

<Table 1> Comparative Results of ABC and IABC for 100 Iterations

No of nodes	Min	Max	Average	Standard deviation
40 using ABC	7.79063	7.79688	7.793189	0.001284
40 using ABC with ranking strategy	7.79063	7.79375	7.793032	0.00132



<Figure 8> The Best Solution Using Our Proposed Method for 40 Node Network

<Figure 8>은 본 논문에서 제안하는 방법을 적용한 결과(사용된 타임슬롯 수 8, 총 타임슬롯 할당 수 67개, 타임슬롯 사용률 20.9%)를 제시한 것이다. 본 논문에서 제안하는 방법은 최적해를 탐색하지는 못하였으나 기존 연구 결과 Wang and Ansari [13]의 Mean field annealing의 해(타임슬롯 수 9, 타임슬롯 사용률 19.7%), Yeo et al.[17] Sequential vertex coloring 방법의 해(타임슬롯 수 8, 타임슬롯 사용률 18.8%), Chakraborty[1]의 Genetic algorithm 방법의 해(타임슬롯 수 8, 타임슬롯 사용률 20.3%), Wu[16]의 Genetic algorithm 방법의 해(타임슬롯 수 8, 타임슬롯 사용률 20.0%), Chen et al. [2]의 Factor graphs와 Sum-product방법의 해(타임슬롯 수 8, 타임슬롯 사용률 20.3%), Gunaseka-

ran[5]가 제안한 결과(타임슬롯 수 8, 타임슬롯 사용률 20.3%)와 비교하여 가장 좋은 결과를 제시할 수 있었다. <Table 2>는 본 논문에서 제안하는 방법과 기존 연구에서 제안한 방법들을 15개, 30개, 40개 노드 네트워크 적용한 결과를 비교한 것이다.

### 5. 결 론

일반적으로 ABC 알고리즘의 특성상 파라미터의 수(Food source의 수, 각 해의 더 좋은 이웃해 탐색 최대 수)가 적어 다른 휴리스틱 알고리즘과 비교하여 가장 적절한 파라미터의 값을 설정하는 것이 수월하고 시행착오를 최소화할 수 있다. 본 논문에서는 TDMA Broadcast Scheduling Problem (BSP) 문제에 Artificial Bee Colony(ABC) 방법을 제안하고 또한 ABC와 Ranking 전략을 혼합 적용하여 Hybrid형태의 개선된 ABC알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제시하는 BSP 최적설계 방법의 성능을 검증하기 위하여 15개, 30개, 40개 노드 BSP 벤치마킹 문제에 적용하여 테스트 한 결과는 15, 30개 노드인 경우는 본 연구에서 제안한 방법이 최적해를 제시할 수 있었으나 40개 노드인 경우는 최적해를 제시할 수 없었다. 그러나 기존 연구 결과와 비교하여 최소의 타임슬롯 8과 가장 좋은 사용률 20.9% 및 총 타임슬롯 할당 수 67를 찾아 낼 수 있었고 그 결과를 제시하였다.

<Table 2> Comparative Study Based on Number of Time Slots and Slot Utilization

No of nodes	Proposed method	Wang[13]	Yeo[17]	Chakraborty[1]	Wu[16]	Chen[2]	Wang[14]	Gunasekaran[5]
15	8(0.167)	8(0.15)	8(0.15)	N/A	8(0.167)	8(0.167)	8(NA)	8(0.167)
30	10(0.123)	12(0.108)	11(0.112)	N/A	10(0.123)	10(0.123)	10(NA)	10(0.12)
40	8(0.209)	9(0.197)	8(0.188)	8(0.203)	8(0.200)	8(0.203)	8(NA)	8(0.203)

## 참 고 문 헌

- [1] Chakraborty, "Genetic Algorithm to solve optimum TDMA transmission schedule in broadcast packet radio networks," *IEEE Transactions on Communications*, Vol.52, No.5 (2004), pp.765-777.
- [2] Chen, Wang, and Chen, "A Novel Broadcast Scheduling Strategy using Factor Graphs and the Sum-Product Algorithm," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 5, No.6(2006), pp.1241-1249.
- [3] Ephremides and Truong, "Scheduling broadcasts in multihop radio networks," *IEEE Transactions on Communication*, Vol.38(1990), pp.456-460.
- [4] Funabiki and Kitamichi, "A gradual neural network algorithm for broadcast scheduling problems in packet radio networks," *IEICE Trans. Fund.*, Vol.E82-A, No.5(1999), pp.815-824.
- [5] Gunasekaran, Siddharth, Krishnaraj, Kalaia-rasan, and Uthariaraj, "Efficient algorithms to solve Broadcast Scheduling problem in WiMAX mesh networks," *Computer Communications*, Vol.33(2010), pp.1325-1333.
- [6] Karaboga and Akay, "A comparative study of Artificial Bee Colony algorithm," *Applied Mathematics and Computation*, Vol.214, No.1 (2009), pp.108-132.
- [7] Karaboga and Basturk, "On the performance of artificial bee colony algorithm," *Applied Soft Computing*, Vol.8, No.1(2008), pp.687-697.
- [8] Karaboga, Dervis, Basturk, and Bahriye, "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization : artificial bee colony algorithm," *Journal of Global Optimization*, Vol.39, No.3(2007), pp.459-471.
- [9] Liao, Tseng, and Luarn, "A discrete version of particle swarm optimization for flowshop scheduling problems," *computer and operations research*, Vol.34(2007), pp.3099-3111.
- [10] Mao, Wu, and Wu, "A TDMA scheduling scheme for many-to-one communications in wireless sensor networks," *Computer Communications*, Vol.30(2007), pp.863-872.
- [11] Shen and Wang, "Broadcast scheduling in wireless sensor networks using fuzzy Hopfield neural network," *Expert systems with Applications*, Vol34(2008), pp.900-907.
- [12] Shi and Wang, "Broadcast scheduling in wireless multihop networks using a neural-network-based hybrid algorithm," *Neural Networks*, Vol.18(2005), pp.765-771.
- [13] Wang and Ansari, "Optimal Broadcast Scheduling in Packet Ratio Networks Using Mean Field Annealing," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.15, No.2(1997), pp.250-260.
- [14] Wang and Shi, "A Gradual Noisy Chaotic Neural Network for Solving the Broadcast Scheduling Problem in Packet Radio Networks," *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol.17, No.4(2006), pp.989-1000.
- [15] Wang, Wu, and Mao, "PSO-based Hybrid Algorithm for Multi-objective TDMA Scheduling in Wireless Sensor Networks," 2nd International ICST Conference on Communications and Networking in China Issued, 2007.
- [16] Wu, Sharif, Hinton, and Tsimenidis, "Solving optimum TDMA broadcast scheduling in mobile ad hoc networks : a competent permutation genetic algorithm approach," *IEE Proc-Communication*, Vol.152, No.6(2005), pp.780-788.
- [17] Yeo, Lee, and Kim, "An efficient broadcast scheduling algorithm for TDMA ad-hoc networks," *Computer and Operations Research*, Vol.29(2002), pp.1793-1806.