

# Particle Swarm Optimization을 이용한 제설차량 작업구간 할당 및 제설전진기지 위치 최적화

## Particle Swarm Optimization for Snowplow Route Allocation and Location of Snow Control Material Storage

박 우 열<sup>1</sup>

김 근 영<sup>2</sup>

김 선 영<sup>2</sup>

김 희 재<sup>2\*</sup>

Park, U-Yeol<sup>1</sup>

Kim, Geun-Young<sup>2</sup>

Kim, Sun-Young<sup>2</sup>

Kim, Hee-Jae<sup>2\*</sup>

*Department of Architecture Engineering, Andong National University, Andong-Si, Kyoungbuk, 36729, Korea <sup>1</sup>*

*Department of Real Estate and Construction, Kangnam University, Yongin-Si, KyoungKi, 16979, Korea <sup>2</sup>*

### Abstract

This study suggests PSO(Particle Swarm Optimization) algorithm that optimizes the snowplow route allocation and the location of the snow control material storage to improve the efficiency in snow removal works. The modified PSO algorithm for improving the search capacity is proposed, and this study suggests the solution representation, the parameter setting, and the fitness function for the given optimization problems. Computational experiments in real-world case are carried out to justify the proposed method and compared with the traditional PSO algorithms. The results show that the proposed algorithms can find the better solution than the traditional PSO algorithms by searching for the wider solution space without falling into the local optima. The finding of this study is efficiently employed to solve the optimization of the snowplow route allocation by minimizing the workload of each snowplow to search the location of the snow control material storage as well.

Keywords : snow removal, snow control material storage, snowplow route allocation, particle swarm optimization

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

최근 하절기 및 동절기에 자연재난의 발생빈도가 높아지고 도로 교통망의 재해 또한 증가하고 있다[1]. 특히 동절기에는 어는 비(Freezing rain)나 블랙 아이스(Black ice)뿐 아니라 폭설빈도가 증가하고 있으며, 노면 결빙을 방지하기 위해 제설제 사용량도 매년 증가하고 있는 실정으로 동절기 도로관리가 매우 중요해지고 있다[2]. 겨울철 강설시에는 무

엇보다도 교통두절, 주민 통행 불편 등이 발생하지 않도록 초동 대처를 신속하게 하는 것이 중요하며, 이를 위해 제설 차량의 배치와 담당구간을 효율적으로 계획할 필요가 있으며 이를 뒷받침할 수 있는 제설전진기지(이하 제설기지)의 배치 또한 중요하다. 살포기는 작업 중 용설제를 모두 살포하면 다시 적재하기 위해 제설기지로 회귀해야 하므로 제설 기지의 위치에 따라 이동거리가 늘어나 작업이 지연될 수 있다. 따라서 제설기지의 위치는 작업동선과 함께 계획되어야 하면 신속한 제설작업의 효율에 많은 영향을 미친다.

현재 도로관리는 도로의 위계에 따라 한국도로공사, 국토관리청, 지자체가 담당하며, 고속도로는 설계단계에서 전진 기지를 계획하여 강설시 체계적으로 대응하고 있으나, 일반 국도나 위임도의 경우 제설기지의 설계 가이드라인이나 설치 기준이 없으며, 일부 지자체의 경우 참고형태의 전진기지도 없이 야외에 제설제를 보관하는 경우도 많은 것으로 나타

Received : May 25, 2017

Revision received : June 27, 2017

Accepted : July 11, 2017

\* Corresponding author : Kim, Hee-Jae

[Tel: 82-31-899-7174, E-mail: irex1@naver.com]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

나고 있다[3].

이에 본 연구에서는 제설 대책이 비교적 미흡하고 차후 정비가 필요한 지자체에서 활용할 수 있는 제설기지의 배치와 제설 작업구간 배치에 대한 최적 대안을 도출할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다. 제설기지의 위치와 제설 차량의 작업 구간은 유기적으로 연결되어야 한다. 이와 같은 제설 작업계획은 최적 차량 배치의 제한 조건이 다양하고 불확실한 요소가 많기 때문에 매우 어려운 문제라고 할 수 있다[4]. 따라서 대부분의 가이드 라인은 부지 선정시 고려할 점에 관한 포괄적인 관점을 제시하고 있으며, 미국소금협회(Salt Institute)[5]에서도 창고에 적합한 저장 부지 선정을 위해 고려할 요인으로, 안정성, 접근성, 합법성, 청결성, 경제성, 배수시설을 제시하고 있다.

구체적인 작업할당과 관련된 기존 연구[4]의 경우 교통량 등의 제한사항을 고려하여 정수계획법(integer program)으로 모형화하는 방법론을 제시하였으나 결국 문제의 복잡성 때문에 발견적 방법(heuristic method)을 대안으로 제시하였다. 또한 일본에서의 연구[6]를 보면 기존에 구축된 도로망DB를 바탕으로 기상상황, 도로 상황, 도로선형, 기판성된 제설 공구 등을 고려하여 최적의 작업구간을 분할하는 대안을 제시하였으나 고속국도와 같이 선형적인 구간에만 적용할 수 있는 한계가 있다. 따라서 선형구간이 아닌 복잡한 도로망에 작업을 할당하는 방법에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

이처럼 주어진 조건에 맞게 도로망을 할당하고 최적 위치를 선정하는 문제는 기존의 순회 판매원 문제나 최적 경로탐색과 유사한 최적화문제라고 할 수 있다[7,8]. 전통적인 순회 판매원 문제는 경로가 증가할수록 N제곱으로 계산 시간이 증가하기 때문에 합리적인 시간에 문제를 해를 발견하기 위해 유전알고리즘 같은 휴리스틱 기술이 연구되어 왔다[7].

이와 관련된 기존 연구를 보면 이산형 최적화문제에서 PSO(Particle Swarm Optimization)가 전형적인 유전자 알고리즘에 필적하거나 우월한 것으로 입증되었다[9]. PSO는 1995년 Kennedy와 Eberhart에 의해 처음 소개된 것으로 비교적 최근에 도입된 진화알고리즘이다[10]. PSO는 물고기, 벌, 새와 같이 군집활동하는 집단의 행동양식을 모방한 것으로, 무리가 이동할 때 자신의 경험과 군집 전체가 공유하는 경험을 활용한다는 가설을 최적화 과정에 도입한 알고리즘이다. 이것은 군집기반으로 확률적으로 진화 연산을 수행하는 유전 알고리즘과 같이 자연의 진화과정을 모방

하고 있으나, 많은 부분에서 차이를 보이고 있다.

따라서 본 연구는 구비된 제설장비를 효율적으로 활용할 수 있도록 제설기지 위치 및 작업할당의 최적화가 가능한 개선된 PSO 알고리즘(이하 개선 PSO 알고리즘)을 제시하고자 한다. 이를 통해 제설 대책이 미흡하고 아직 정비가 부족한 지자체가 제설대책을 수립할 때 의사결정과정에서 활용할 수 있는 대안을 제시하고 이를 통해 효율적인 제설대책을 수립하는데 기여하는 것을 목적으로 한다.

## 1.2 연구의 방법 및 범위

제설전진기지는 제설 지원 시스템의 물리적인 제반요건으로서, 제설대상 도로 구간에 필요한 제설 차량 및 장비를 보관한 차고와 제설제를 비치한 창고, 비상시 신속하게 제설 작업이 진행될 수 있도록 정보전달 및 파악이 가능한 관리시설, 작업자의 휴게 및 숙식시설 등을 구비한 물리적 시설물로 정의된다[3]. 본 연구에서는 제설기지의 최적 위치를 정하는 것과 미리 주어진 제설차량에 작업구간을 최적으로 할당하는 문제를 해결할 수 있는 알고리즘을 제시하고자 한다. 제설기지의 위치는 제설작업의 효율에 매우 큰 영향을 미친다. 제설차량과 제설기지의 이동거리가 길어질수록 차량의 이동시간이 커서 신속한 작업이 어렵게 되기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 주어진 제설차량이 효율적으로 제설작업을 수행할 수 있도록 도로구간에 할당한 후 각 차량에서 가장 거리가 가까운 지점을 제설기지로 설정하는 방식을 제안하였다.

제설차량에 도로구간을 할당하기 위해서는 해당 구간의 제설작업 속도를 고려해야만 하며, 이를 위해서는 개별 도로의 통행량, 노면 상태, 노면의 경사, 신호의 위치 및 개수 등을 반영해야만 한다. 그러나 대도시가 아닌 군 단위의 도로에서는 도로정보 및 교통량과 관련된 데이터가 체계적으로 관리되지 못하고 있는 실정이며, 개별적으로 측정하여 활용하기에는 막대한 자원이 필요할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 비교적 용이하게 획득할 수 있는 도로의 연장 길이, 노선 폭만을 반영하여 최적해를 도출하는 것으로 범위를 한정하였다.

연구의 방법은 우선 초기에 제시된 기존의 PSO 알고리즘을 살펴본 후 기존 알고리즘의 최적해 탐색 성능을 높이기 위해 제안된 방법들을 고찰하였다. 이를 통해 가장 우수하다고 판단되는 알고리즘을 본 연구에 적용할 수 있도록 개선된 알고리즘을 제시하였다. 제안한 알고리즘은 기존 연구에서

제시된 방법론을 본 연구 모델에 맞게 수정한 것이며, 해공간을 탐색을 위한 개체의 표현형식, 제시된 표현형식에 따라 작업구간을 할당하는 방법, 적합도 함수의 계산 방법 등을 제시하였다. 제시한 방법의 적용가능성을 검토하기 위하여 실제 지자체의 도로구간에 적용하였으며, 기존의 PSO 알고리즘과 제안한 알고리즘을 비교분석하여 타당성을 검증하였다.

## 2. PSO 알고리즘

### 2.1 기존 PSO

PSO는 군집 활동하는 물고기나 새 집단의 행동양식을 모방한 것으로, 개체(particle) 자신과 자신이 속한 군집(swarm)이 경험하는 정보를 이용하여 최적의 해를 찾는 알고리즘이다. 즉 무리가 먹이를 찾아가는 과정에서 자신의 경험과 군집 전체가 공유하는 경험을 활용한다는 가설을 최적화 과정에 도입한 것이다[11]. 일반적인 PSO 알고리즘의 적용순서는 다음과 같다.

- 1) 각 개체 및 군집을 초기화한다.
- 2) 모든 개체에 대해 다음 연산을 수행한다.
  - 2-1) i번째 개체의 위치벡터( $x_i^k$ )를 적용 문제의 해로 변환한다.
  - 2-2) 변환된 개체의 적합도값( $f(x_i^k)$ )을 계산한다.
  - 2-3) 계산된 적합도값이 개체가 현재까지 경험한 가장 좋은 적합도값보다 우수하다면 자신이 경험한 최고의 위치( $pbest^k$ )를 현재 위치벡터로 수정한다.
- 3) 개체의 현재 적합도값 중 가장 좋은 해가 집단이 경험한 최고의 위치( $gbest^k$ )보다 우수하다면 값을 치환하여 집단이 경험한 최고의 위치( $lbest^k$ )를 수정한다.
- 4) 각 개체의 속도 벡터( $v_i^k$ )를 수정한다.
- 5) 각 개체의 위치 벡터를 수정한다.
- 6) 종료조건을 만족할 때까지 2) 이후 과정을 반복한다.

PSO에서 particle은 자신의 위치벡터와 속도벡터를 기억하고, 식(1)과 같이 탐색과정에서 최적의 속도벡터를 구하여 자신의 위치를 수정해나간다.

$$x_{ij}^{k+1} = x_{ij}^k + v_{ij}^{k+1} \text{ ----- (1)}$$

이때 최적의 속도벡터를 구하기 위해서는 자신이 경험한 최고의 위치( $pbest$ )와 집단이 경험한 최고의 위치( $gbest$ )를 활용하게 된다. 식(2)는 k번째 경로에서 k+1번째 경로로 이동하기 위해 속도벡터를 수정하는 식이다.

$$v_{ij}^{k+1} = w^k v_{ij}^k + r_1 c_1 (pbest_{ij}^k - x_{ij}^k) + r_2 c_2 (gbest^k - x_{ij}^k) \text{ ---- (2)}$$

여기서  $w$ 는 관성하중(inertia weight)으로서 기존의 속도가 현재 속도에 미치는 영향을 조절하는 것으로 최적해를 탐색하는 동안 0.9에서 0.4까지 선형적으로 감소시키는 방법이 주로 활용된다[12]. 즉 초기에 넓은 범위의 전역탐색을 실시하고 최적해에 가까워질수록 좁은 범위의 지역탐색으로 좁혀가는 과정으로 이해할 수 있다.

$c_1$ 과  $c_2$ 는 가속상수(acceleration constant)로서  $pbest$ 와  $gbest$ 로 향해가는 가속의 정도를 나타낸다. 가속상수는 지나치게 빨리 방향전환이 되거나 최적치를 벗어날 가능성이 있으며, 값이 작을 경우 최적치에서 멀리 떠돌 수 있다.

### 2.2 개선된 PSO알고리즘

앞 장에서 제시된 기존의 알고리즘은 사회적인 행위와 인지적인 행위를 통해 자신의 위치를 수정해나가는 군집속의 개체의 행위를 시뮬레이션한 것이며, 기존의 알고리즘보다 최적해의 탐색능력을 개선하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다[13,14,15].

$$v_{ij}^{k+1} = w^k v_{ij}^k + r_1 c_1 (pbest_{ij}^k - x_{ij}^k) + r_2 c_2 (gbest^k - x_{ij}^k) + r_3 c_3 (lbest^k - x_{ij}^k) + r_4 c_4 (nbest^k - x_{ij}^k) \text{ ----- (3)}$$

본 연구에서는 기존 연구를 참조하여 식(3)과 같이 국소지역에서 경험한 최고의 위치(Logical best position;  $lbest^k$ )와 근접 이웃이 경험한 최고의 위치(Near neighbor best position;  $nbest^k$ )를 참조하여 자신의 위치를 수정해가는 알고리즘을 적용하였다.

근접 이웃이 경험한 최고의 위치는 군집에 있는 개체가 이웃한 개체 중에서 그 이웃이 경험한 가장 좋은 위치에 영향을 받는다는 점을 반영한 것이다[11]. 여기서 가장 영향도가 높은 이웃을 선택할 때는 식 (4)와 같이 FDR(Fitness

-Distance-Ratio)을 사용한다.

$$FDR(j,i,d) = \frac{Fitness(P_j) - Fitness(x_i)}{|P_{jd} - x_{id}|} \quad \text{--- (4)}$$

여기서  $Fitness(P_k)$ 는 이웃한 개체가 과거에 경험한 최고의 위치를 나타낸다.

국소지역에서 경험한 최고의 위치는 개체가  $k$ 개의 인접한 이웃을 대상으로 그 이웃이 경험한 최고의 위치를 반영한 것이다[12,13]. 기존 연구에서는 통상 5개의 이웃 개체를 반영하며 개체의 순서에 따라 좌우 양쪽 동일한 수의 이웃 개체가 경험한 최고의 위치를 반영한다.

### 3. 제설전진기지 위치 및 작업 할당 최적화를 위한 PSO 알고리즘

앞 장에서 제시한 개선된 PSO 알고리즘을 바탕으로 최적 작업할당 및 전진기지 위치 선정을 위해 적용한 알고리즘은 다음과 같다.

#### 3.1 개체의 표현

개체의 표현 형식은 해 집합을 효과적으로 탐색하여 최적 해를 도출하기 위해 매우 중요하다[13]. 본 연구에서는 기존 연구의 표현 형식을 참조하여 제설차량의 참조 위치(reference point)를  $x, y$ 좌표로 표현하였으며, 제설차량의 대수 $\times 2(x, y$ 좌표) 만큼 자리수를 차지한다.

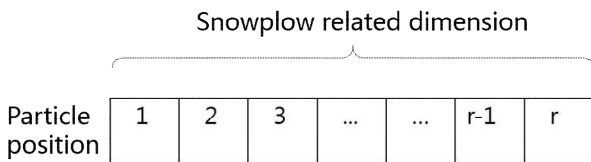


Figure 1. Solution representation

#### 3.2 작업구간의 할당

개체의 표현형식의 적합도 함수값을 계산하기 위해서는 표현형식을 적절한 작업구간의 할당값으로 변환해야 한다. 여기서 각 경로에 대한 차량배정 우선순위는 각 차량의 참조점과 경로의 중간점과의 거리가 가장 짧은 차량을 우선 배정하는 것으로 하였다. 제설기지 참조점에서 가장 가까운 교차

로를 출발점으로 하며, 제설차량 한 대에 할당된 작업경로는 모두 연결되어야만 하며, 만일 연결되지 않는 작업경로가 있으며 그 다음 우선 순위값을 갖는 차량에 할당되는 것으로 하였다.

#### 3.3 적합도 함수

적합도 함수는 제설차량간 작업부하 편차의 최소화로 설정하였다. 여기서 각각의 제설차량에 할당된 작업부하(Work Load)는 제설 차량에 할당된 구간의 노선길이  $\times$  노선 폭으로 계산하였다. 제설차량별로 작업부하를 산출한 후 전체 제설차량을 대상으로 작업부하의 평균값(Aver)을 계산하였으며 각 차량에 할당된 작업부하와 평균값 사이의 편차가 작을수록 높은 점수를 부여하였다.

$$\min f = \sum_i (Work Load_i - Aver)^2 \quad \text{----- (5)}$$

적합도값에 따라 할당된 제설 구간의 작업부하 편차가 가장 낮게 나타나는 최적 배치값이 도출되면 각각의 도로구간에 배정된 차량의 이동거리가 가장 짧은 곳을 찾아 제설기지의 위치를 설정하도록 하였다. 살포기는 용설제를 모두 살포하면 제설기지로 회귀해야 하며 어느 위치에서 회귀하는지 특정하기 어렵기 때문에 해당 도로구간에 속하는 교차로 지점에서 가장 가까운 값을 이용하였다. 또한 제설기지의 위치는 외곽지역으로 한정하였으므로 참조점에서 가장 가까운 교차로는 외곽 도로망에 면한 교차로만으로 한정하였다.

### 4. 사례적용 및 분석

#### 4.1 적용사례 개요

앞장에서 제시한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 국내 지자체 중 제설차량 배정이나 제설기지가 확정되지 않는 사례를 대상으로 알고리즘을 적용하였다. Figure 2는 적용 대상 A군의 중심 시가지 도로를 표시한 것이다. 그림에 표시된 도로의 일련번호는 네모로, 교차점의 일련번호는 동그라미로 표시하였으며, 각각의 일련번호는 임의로 부여한 것이다. 도로 일련번호 앞의 숫자는 차선 폭, 뒤의 숫자는 연장길이를 나타낸다. 연장길이는 GPS 프로그램에 의해 계산된 값을 적용하였다. 일부 구간에서 소규모 도로가 복잡하게 얽혀있는 경우에는 일부 도로를 생략하는 방식으로 적용이 용이하도록 간소화하였다.



Figure 2. Road network of A city

본 사례에서 전체 도로구간에 할당해야 하는 제설차량은 세 대로 주어지며, 각 차량의 작업부하가 일정하도록 도로구간을 할당하는 문제는 다양한 경우의 수가 있기 때문에 해결하기 어렵다. 제안된 PSO 알고리즘은 Microsoft Visual Studio 2015의 C#을 이용하여 코딩하였다.

#### 4.2 제한사항

도로 제설에 필요한 적정 차량대수는 도로 연장 및 강설 특성에 따라 적절하게 산정된 것으로 가정하였다. 따라서 적정 차량대수는 이미 주어진 것으로 산정하였으며, 본 사례의 경우는 네 대가 주어진 것으로 적용하였다. 필요에 따라서는 차량 대수를 가감하여 최적화를 수행할 수 있다. 또한 본 사례에서는 남북방향으로 중심 시가지를 교차하는 도로의 통행량이 가장 높기 때문에 11, 19, 25번 도로를 하나의 차량이 작업하는 것으로 제한사항을 부과하였다.

또한 각각의 도로는 노선폭에 차이가 있으며, 긴급상황시 왕복 4차선 이상의 도로는 노면 전체를 제설할 필요가 없기 때문에 본 사례에서 5차선 이상의 도로의 경우에도 왕복 4차선만을 제설하는 것으로 산정하였다.

제설기지는 중심 시가지가 아닌 외곽지역에 설치하는 것으로 한다. 제설기지가 중심 시가지에 위치하면 제설 대상으로 접근하기 용이하다. 그러나 선행 조사[3]에 따르면 중심 시가지는 지가가 높으며, 인근 주민들이 혐오시설로 이전을 요구하는 경우도 많아 현실적으로 외곽지역에 위치할 수밖에 없다. 따라서 제설기지의 위치는 각 차량에 할당된 도로구간과의 이동거리가 가장 짧은 외곽의 교차로를 최적 위치로 선정하도록 하였다. 이 경우 지자체의 여건에 따라 선정된 교차로에 가장 가까운 부지를 대상으로 제설기지를 설치한다면 의사결정과정에도 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4.3 매개변수의 결정

개선된 알고리즘을 사례에 적용하기 위해서는 집단에 속하는 개체의 수, 반복 실행 횟수, 국소 이웃의 수, 관성 하중 등의 매개변수 값을 결정해야 한다. 본 연구에서는 기존 연구[14,15]를 참고하여 매개변수를 변화시켜가면서 실험하였으며 그 결과는 Figure 3과 같다.

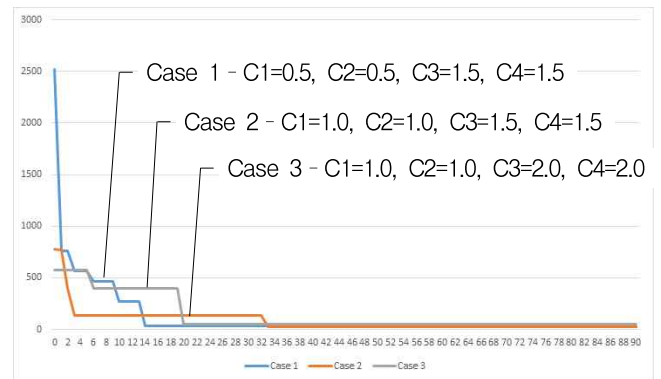


Figure 3. Comparison the results of PSO by parameter setting

Table 1. Parameter setting of PSO algorithm

| Parameter  | Value                               |
|--|-------------------------------------|
| Number of particle                                 | 100                                 |
| Number of iteration                                | 1000                                |
| Number of neighbour(K)                             | 5                                   |
| Inertia weight                                     | Linearly decreasing from 0.9 to 0.4 |
| Personal best position acceleration constant       | 0.5                                 |
| Global best position acceleration constant         | 0.5                                 |
| Local best position acceleration constant          | 1.5                                 |
| Near neighbour best position acceleration constant | 1.5                                 |

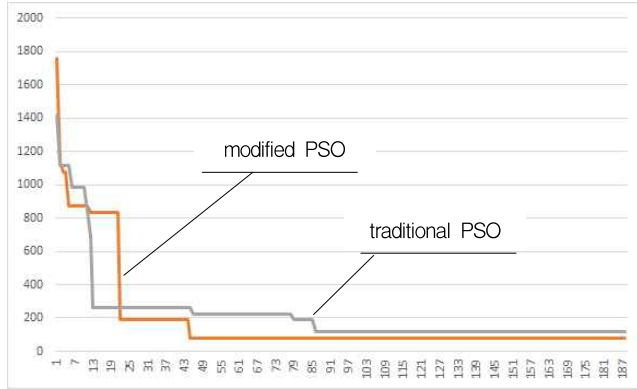


Figure 4. Comparison the results of traditional & modified PSO

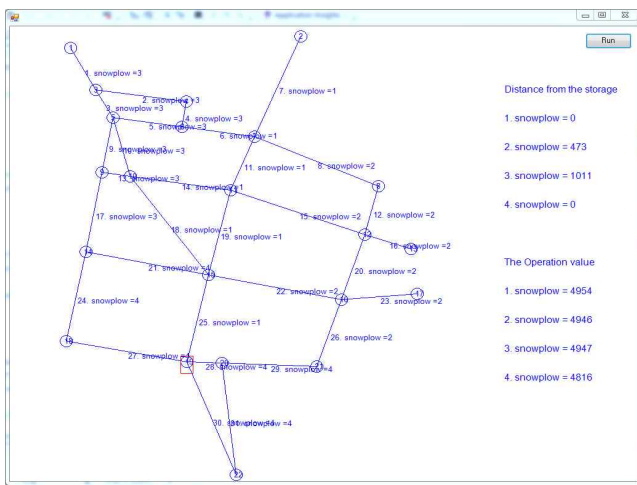


Figure 5. Result representation of modified algorithms

Figure 3에서 볼 수 있는 바와 같이 Case 1의 경우가 최적해를 탐색하는 과정에서 계단형으로 효율적으로 해공간을 탐색하는 것을 알 수 있다. 따라서 실험결과를 바탕으로 매개변수값을 결정하였으며 그 내용은 Table 1과 같다.

#### 4.4 적용결과

기존이 알고리즘과 개선된 알고리즘과 비교한 결과는 figure 4와 같다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 두 알고리즘 모두 실행 횟수 100회 이전에 최적해를 도출하는 것을 알 수 있으며, 개선된 PSO의 경우 초기 집단의 개체에서 도출된 적합도 값이 좋지 않았으나 기존 알고리즘보다 폭넓게 해공간을 탐색하여 지역해에 빠지지 않고 더 우수한 해를 도출하는 것을 알 수 있다.

개선된 알고리즘을 실제 사례에 적용한 결과는 Figure 5과 같이 표현되도록 구현하였다. 적용결과 제시한 알고리즘은 비교적 제설차량 모두가 고르게 작업부하를 분담할 수

있도록 작업을 할당하는 것을 확인할 수 있다. 또한 각 제설 차량에 할당된 도로구간과의 이동거리가 가장 적은 교차점인 19번 교차점에 제설기지를 설치하는 것이 바람직한 것으로 계산되었다.

따라서 이와 같은 결과를 활용한다면 담당자의 직관에만 의존해서 결정하는 것보다 합리적인 대안을 결정하는데 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

### 5. 결 론

본 연구는 제설관련체계가 아직 정비되지 못한 지자체 등에서 구비된 제설장비를 효율적으로 활용할 수 있도록 제설 차량의 작업할당 및 제설기지 위치의 최적화가 가능한 개선된 PSO 알고리즘(이하 개선 PSO 알고리즘)을 제시하였으며, 주어진 문제를 해결하기에 적합한 개체의 표현 및 매개변수값의 설정, 적합도 함수값을 제시하였다. 제시한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 실제 사례에 적용하여 그 결과를 기존 알고리즘과 비교하였다.

본 연구에서 제시한 알고리즘을 활용할 경우 개별 제설 차량에 할당된 작업구간에 작업부하가 평균화될 수 있도록 작업구간을 할당할 수 있었으며, 할당된 작업구간에 가장 가까운 지점을 도출하여 제설전진기지의 위치를 결정하는데 활용될 수 있음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과를 활용할 경우 단순히 담당자의 경험적인 직관에 따라 판단하는 것보다 더 나은 대안을 도출할 수 있으며, 의사결정과정의 참고 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 제안한 PSO의 경우 초기 집단의 개체에서 도출된 적합도 값이 좋지 않았으나 기존 알고리즘보다 폭넓게 해공간을 탐색하여 지역해에 빠지지 않고 더 우수한 해를 도출하는 것을 확인할 수 있었다.

본 알고리즘의 경우 실질적인 데이터 습득에 제약이 있어 도로의 교통량 통계나 노면 상태, 신호의 개수 등의 데이터를 활용하지 못했으나, 차후 도로망 및 교통정보에 관한 데이터베이스 구축이 매우 필요하다고 판단되며, 이와 같은 시스템으로 정보 습득이 용이해진다면 알고리즘의 적용 가능성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

### 요 약

본 연구는 제설작업의 효율성을 높일 수 있도록 제설차량

의 작업구간 할당 및 제설기지 위치를 최적화할 수 있는 PSO 알고리즘을 제시하였다. 기존의 PSO 알고리즘을 개선하여 해공간의 탐색 성능을 높일 수 있는 개선된 알고리즘을 제시하였으며, 제설차량의 작업구간 할당 문제에 적용할 수 있도록 개체의 표현 및 적합도 함수값을 제시하였다. 또한 제시한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 지자체의 실제 사례에 적용하였으며, 기존 알고리즘과 개선된 알고리즘을 비교하였다. 그 결과 개선된 PSO의 경우 기존 알고리즘보다 폭넓게 해공간을 탐색하여 지역해에 빠지지 않고 더 우수한 해를 도출하는 것을 알 수 있다. 또한 개별 제설차량의 작업 부하가 평준화될 수 있도록 작업구간을 할당할 수 있으며, 할당된 작업구간에 가장 가까운 지점을 도출하여 제설전진 기지의 위치를 결정하는데 활용될 수 있음을 알 수 있었다.

**키워드** : 제설, 제설전진기지, 제설 작업구간 할당, PSO

## Acknowledgement

This research was supported by a grant[MPSS-NH-2014 -72] through the Disaster and Safety Management Institute funded by Ministry of Public Safety and Public Safety and Security of Korea government.

## References

1. Yang CH, Kim IS, Prioritization of anti-icing spray system for active snow-removal works, *International Journal of Highway Engineering*, 2015 Aug;17(4):99-105.
2. Kim JG, Yang CH, Estimates on appropriate storage for deicing materials for the 2018 pyeongchang winter olympic games, *International Journal of Highway Engineering*, 2016 Dec;18(6):51-9.
3. Kim GY, Kim HJ, Park UY, Planning guidance for snow control material storage facilities based on case studies, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2016 Aug;16(4):381-8.
4. Gupta D, Elif TE, Dustin K, Kumar MA, Wei X, Optimal workforce planning and shift scheduling for snow and ICE removal; 2010 Dec [cited 2016 Dec 10] Available from:[http://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/150323/Mn\\_DOT2011-03.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/150323/Mn_DOT2011-03.pdf?sequence=1&isAllowed=y);
5. The Salt Institute, Salt Storage Handbook [Internet], Virginia: The Salt Institute; [updated 2015; cited 2015 Dec 12]. Available from: <http://www.saltinstitute.org/wp-content/uploads/2013/09/Salt-Storage-Handbook-2015.pdf>.
6. Ogami Tetsuya, Sasaki Norihiro, Makino Masatoshi, Yanagisawa Yuji, A method for planning snowplow deployment at standard snow removal speeds considering the attributes of regions and routes, *Journal of the Civil Engineering Research Institute for Cold Region*, 2011 Mar;694:12-20.
7. Hong SM, Lee YA, Chung TC, Efficient path search method using ant colony system in traveling salesman problem, *Journal of KIISE : Software and Applications*, 2003 Oct;30(9):862-6.
8. Kim SK, Lee MG, Lee HS, Effective route scheduling for military cargo-plane operation, *Korean Management Science Review*, 2016 Mar;33(1):89-99.
9. YIM DS, Performance comparison of discrete particle swarm optimizations in sequencing problems, *Journal of the society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2010 Dec;33(4) 58-68.
10. Kennedy J, Eberhart R, Particle swarm optimization, *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks Perth; 1995 Nov 27-Dec 1; Perth, Australia, Piscataway (NJ): Institute of Electrical and Electronics Engineers; 1995, p. 1942-8.*
11. Yoo MR, Visualization tool design for searching process of particle swarm optimization, *Journal of Multimedia Information System*, 2003 Feb;6(2):332-9.
12. Park BJ, Oh SK, KIM YS, Ahn TC, Comparative study on dimensionality and characteristic of PSO, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems Engineering*, 2006 Apr;12(4): 328-38.
13. Veeramachane K, Peram T, Mohan C, Osadciw LA, Optimization using particle swarms with near neighbor interactions, *Proceedings of Genetic and Evolutionary Computation Conference Chicago; 2003 July 12-16; Chicago, USA, New York (USA): the Association for Computing Machinery Special Interest Group on Genetic and Evolutionary Computation; 2003, p. 110-21.*
14. Ai TJ, Kachitvichyanukul V, A particle swarm optimisation for vehicle routing problem with time windows, *International Journal of Operational research*, 2009 Sep;6(4):519-37.
15. Kachitvichyanukul V, Sombuntham P, Kunnapapleelert S, Two solution representations for solving multi-depot vehicle routing problem with multiple pickup and delivery requests via PSO, *Computers & Industrial Engineering*, 2015 Apr;89(13):125-36