

전투치열도를 고려한 후속 군수지원의 최적 보급로 구성에 관한 연구

A Study on the Composition of Optimal Supply Route for Follow-on Logistics Support which Considers the Degree of Combat Intensity

김기태* 조성진*
Ki Tae Kim Sung Jin Cho

Abstract

Victory and defeat of the war depends on follow-on logistics support. The spending time of follow-on logistics support at combat area is greatly influenced by the degree of combat intensity. The main purpose of this study is to compose a optimal supply route for operational sustainability of combat unit at combat area using transport vehicles. This study suggests a composition of optimal supply route for follow-on logistics support which considers the degree of combat intensity. A mathematical programming model and a genetic algorithm suggest to minimize the total spending time of follow-on logistics support. The suggested mathematical programming model is verified by using CPLEX 11.1. This study computes supply route, total spending time, total travel distance, and the number of transport vehicle.

Keywords : Logistics Support, Supply Route, Combat Intensity, Genetic Algorithm

1. 서론

오늘날 전쟁의 승패는 과학기술의 발전으로 인한 첨단 무기체계와 더불어 후속 군수지원에 달려있다고 할 수 있다. 군수지원(Logistics Support)은 보급, 정비, 수송, 근무 등 부대 운영·유지 및 작전활동에 필요한 자원을 적시, 적소, 적량, 정밀지원 보장에 목표를 두고 제공하는 제반 활동을 말하며, 전투지역에 있는 부

대의 전쟁 지속능력에 영향을 미친다^[1]. 후속 군수지원을 위한 보급로(Supply Route)는 도로, 수로 또는 공로와 같은 교통도로로서 보급품을 전투부대에 운반하는데 이용되는 수송로를 말한다^[1].

전투부대에 보급품을 운반하기 위한 수송수단의 이동시간은 보급부대 및 전투부대간의 거리에 의해서만 영향을 받는 것이 아니라 전투의 격렬한 정도를 나타내는 전투치열도에 따라 큰 영향을 받는다. 보급로상의 전투가 격렬하면 수송수단의 이동에 장시간이 소요되며, 소규모 전투중이거나 소강상태일 경우에는 다소 빠른 시간에 보급품을 운반할 수 있을 것이다. 즉, 이동거리가 최단인 보급로라고 해도 보급로상의 전투

† 2010년 6월 25일 접수~2010년 9월 17일 게재승인

* 국방대학교(Korea National Defense University)

책임저자 : 김기태(navystar52@naver.com)

가 격렬하다면 소규모 전투중이거나 소강상태인 보급로를 선정하여 이동하는 것이 보급에 소요되는 시간을 줄일 수 있을 것이다. 이는 순회 판매원 문제(TSP : Traveling Salesman Problem)를 확장한 개념으로 제한된 용량을 가진 복수의 차량들이 차고지(Depot)에서 출발하여 서비스를 요구하는 지리적으로 분산된 고객들을 방문하고, 다시 차고지로 복귀하는데 소요되는 시간(거리, 비용, 차량 대수 등)을 최소화하도록 차량의 할당 및 경로를 결정하는 차량경로문제(VRP : Vehicle Routing Problem)와 유사한 조합 최적화 문제이며, NP-hard문제로 알려져 있다^[8,9].

차량경로문제의 해법으로는 최적화 해법(Exact)과 발견적 해법(Heuristic)으로 나눌 수 있는데 최적화 해법에는 분지한계법(Branch and Bound Method)^[5], 혼합정수계획법(Mixed Integer Programming)^[14], 절단평면법(Cutting Plane Method)^[7] 등이 있으며, 최적 해를 구할 수 있으나 수요지의 수가 증가함에 따라 많은 계산시간과 기억용량이 필요^[13]하므로 해를 구하기가 불가능하다는 단점을 가지고 있다. 발견적 해법에는 Clarke & Wright^[6], Insertion^[10], Sweep^[16] 등이 있으며, 최적해와 근사한 값을 빠른 시간 내에 산출할 수 있다. 최근에는 이러한 발견적 해법들을 제어할 수 있는 상위수준의 발견적 해법인 메타휴리스틱(Meta-heuristic)을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)^[11,15], 금단 검색법(Tabu Search)^[2], 모의 담금질(Simulated Annealing)^[4], 개미 군집 최적화(Ant Colony Optimization)^[3] 등이 있다.

본 연구에서는 전투지역에서 제한된 적재능력을 보유한 수송차량이 보급로상의 전투치열도를 고려하여 후속 군수지원을 하기 위한 최적의 보급로를 구성하고자 한다. 총 소요시간을 최소화하는 보급로를 구성하기 위한 수리모형을 구축하였으며, 우수한 초기 해를 생성하기 위한 Clarke & Wright 알고리즘과 해를 개선하기 위하여 2-opt 기법을 적용한 유전자 알고리즘을 제시하였다.

2. 수리모형의 구축

본 연구에서는 전투지역에서의 보급로를 전투치열도에 따라 상급·중급·하급 3가지로 구분하여 반영하고, 수송차량의 제한된 적재능력을 고려하였으며, 후속 군수지원을 하기 위한 총 소요시간을 최소화하는

보급로를 구성하고자 한다. 여기서 총 소요시간은 수송차량의 이동 소요시간과 전투부대에 대한 보급 소요시간을 합한 것이다.

단일 보급 지원부대를 중심으로 전체 N 개의 전투부대와 제한된 수송차량을 보유하고 있고, 전투부대의 보급 소요시간과 수송차량의 적재용량은 일정하며, 전투부대의 위치와 보급수요량은 알려져 있는 것으로 모형을 구축하였다. 모형의 구축을 위한 가정 사항은 다음과 같다.

- 1) 수송차량의 출발과 종착은 보급 지원부대에서만 이루어진다.
- 2) 각 전투부대의 보급수요량은 수송차량의 1회 방문에 의해서 만족되며, 각 전투부대는 수송차량의 1회 방문만 허용한다.
- 3) 각 수송차량의 보급로에 포함된 전투부대의 보급수요량 합은 적재용량을 초과할 수 없다.
- 4) 각 보급로별 전투치열도는 알려져 있다.

본 연구의 수리모형에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

- n : 전투부대의 수($n=0,1,2,\dots,N$)
- i, j : 전투부대($i, j=0,1,2,\dots,N, i=j=0$: 보급 지원부대)
- k : 전투치열도(1 : 상급, 2 : 중급, 3 : 하급)
- m : 수송차량의 수($m=1,2,\dots,M$)
- t_{ijk} : 전투치열도 k 하에 전투부대 i 에서 전투부대 j 로의 이동 소요시간
- x_{ijkm} : 수송차량 m 이 전투치열도 k 하에 전투부대 i 에서 전투부대 j 로의 이동 여부
- S_i : 전투부대 i 에서의 보급 소요시간
- D_i : 전투부대 i 에서의 보급수요량
- C : 수송차량의 적재용량
- T : 전투부대들의 부분집합

본 연구의 목적함수와 제약함수로 구성된 수리모형은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M t_{ijk} \cdot x_{ijkm} + \sum_{i=1}^N S_i \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M x_{ijkm} = 1 \quad j=1,2,\dots,N \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M x_{ijkm} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^K x_{ipkm} - \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K x_{pjkm} = 0 \quad (4)$$

$p = 1, 2, \dots, N$ and $m = 1, 2, \dots, M$

$$\sum_{i=0}^N D_i \cdot \left(\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K x_{ijkm} \right) \leq C \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^K \sum_{k=1}^K x_{0jkm} \leq 1 \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K x_{i0km} \leq 1 \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ijkm} \leq |T| - 1 \quad (8)$$

$k = 1, 2, 3, 4$ and $m = 1, 2, \dots, M$

$$x_{iikm} = 0, \quad x_{jjkm} = 0 \quad \forall i, j, k, m \quad (9)$$

$$x_{ijkm} = \begin{cases} 1, & \text{수송차량 운행시} \\ 0, & \text{수송차량 미운행시} \end{cases} \quad \forall i, j, k, m \quad (10)$$

본 수리모형의 목적함수 식 (1)은 수송차량의 이동 소요시간과 전투부대에 대한 보급 소요시간의 합인 총 소요시간을 최소화시키는 것이다. 제약함수 식 (2)와 식 (3)은 각 전투부대에는 한 대의 수송차량만이 방문할 수 있다는 1회 방문의 제약을 의미하고, 제약함수 식 (4)는 수송차량이 임의의 전투부대에 도착하여 보급을 종료한 후에는 반드시 다른 전투부대나 보급 지원부대로 출발해야 한다는 수송차량 흐름의 연속성을 나타낸다. 제약함수 식 (5)는 각 보급로에 포함된 전투부대의 총 보급수요량은 수송차량의 적재용량을 초과할 수 없음을 의미하고, 제약함수 식 (6)과 식 (7)은 보급 지원부대를 출발하는 가능한 수송차량이 반복 운행할 수 없음을 의미한다. 제약함수 식 (8)은 부분 보급로의 형성을 방지하기 위한 제약으로 전투부대의 수 N 에 따라 $2^N - 1$ 개의 식으로 구성되고, 제약함수 식 (9)는 동일 전투부대를 운행할 수 없다는 의미이며, 제약함수 식 (10)은 전투부대간의 수송차량

운행이 있으면 1, 없으면 0을 나타내는 결정변수 제약이다.

3. 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 생물의 진화과정, 즉 자연선택과 유전법칙을 모방한 확률적 탐색기법으로 Holland^[12]에 의해서 처음으로 소개되었다. 본 연구에서는 제한된 적재능력을 보유한 수송차량이 보급로상의 전투치열도를 고려하여 후속 군수지원을 하기 위한 최적의 보급로를 구성하고자 한다. 우수한 초기 해를 생성하기 위한 Clarke & Wright 알고리즘과 해를 개선하기 위하여 2-opt 기법을 적용한 유전자 알고리즘을 제시하였으며, 수행절차는 다음 Fig. 1과 같다.

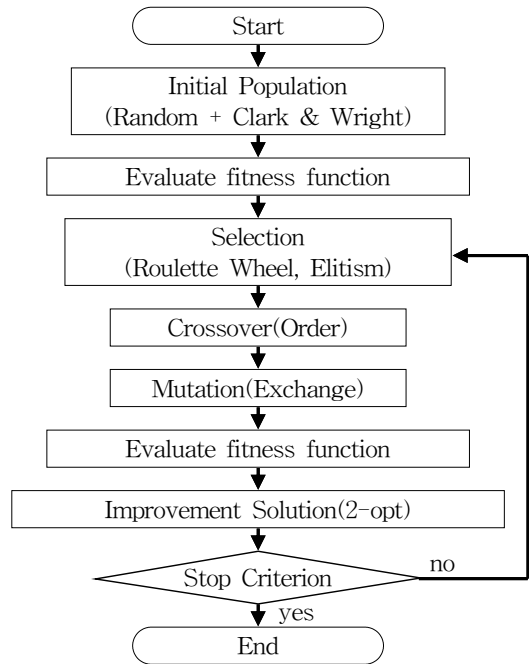


Fig. 1. 유전자 알고리즘

가. 유전자 표현(Gene Representation)

본 연구에서 제안한 알고리즘의 유전자 표현은 다음 Table 1과 같이 2개의 String으로 이루어진 이중구조로 설정하였다. 전투부대는 전투부대의 번호를 나타내지만 불필요한 부분으로 실제 구성은 하지 않았으며, 우선순위는 각 전투부대를 방문하는 우선순위를 표현하

었고, 수송차량은 각 전투부대에 방문하는 수송차량을 나타내는 것으로 유전자에서 표현된 개체는 수송차량의 번호를 의미한다.

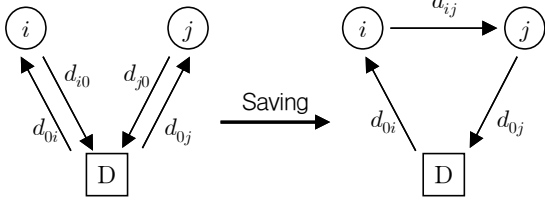
예를 들어, Table 1에서 3번 수송차량의 경우는 보급로가 D(Depot)-4-6-8-D인데, 방문 우선순위를 고려하면 D-6-4-8-D인 보급로를 구성하게 된다.

Table 1. 유전자 표현

전투부대	1	2	3	4	5	6	7	8
우선순위	2	8	5	6	4	1	3	7
수송차량	1	2	1	3	2	3	1	3

나. 초기 모집단(Initial Population)

초기 모집단을 생성하는 방법으로는 임의생성 기법과 Clark & Wright 알고리즘을 혼합하여 구성 하였다. Clark & Wright 알고리즘은 다음 Fig. 2와 같이 경제적인 보급로를 형성할 수 있도록 유도하여 우수한 초기 해를 산출해주는 역할을 한다. Fig. 2의 (a)와 같이 전투부대를 왕복하는 경우와 (b)와 같이 전투부대를 경유하는 경우의 이동거리 차이인 절약(Saving) 값을 구한 후 크기의 내림차순으로 절약목록을 작성하고, 이 절약목록에서 절약이 가장 큰 전투부대 순서대로 보급로를 형성한다.



(a) 전투부대 왕복 (b) 전투부대 경유

Fig. 2. Clarke & Wright 알고리즘

다. 선별(Selection)

선별은 세대별 우수한 해의 생존을 보장하고, 지역 해로의 수렴을 방지하기 위하여 적합도가 작은 해의 생존을 확률적으로 보장해주는 룰렛 휠(Roulette Wheel) 방법을 적용하였으며, 집단 내에서 가장 강한 개체가 다음 세대로 변경되지 않고 전달되는 것을 보장하기 위하여 세대별 우수한 해는 반드시 생존할 수 있도록 하는 엘리트 보전전략(Elitism Strategy)을 적용하였다.

라. 교차(Crossover)

교차 방법은 각 전투부대의 방문 우선순위가 보급로를 구성함에 있어 중복되면 보급로가 형성되지 않으므로 우선순위의 상대적인 순서가 유지되는 순서교차(Order Crossover)를 적용하였으며, 각 전투부대에 할당된 수송차량은 2점 교차(Two-Point Crossover)를 적용하였다.

마. 돌연변이(Mutation)

돌연변이 방법으로 전투부대의 방문 우선순위는 돌연변이를 통해 중복되는 유전자가 발생하지 않도록 교환(Exchange) 돌연변이를 적용하였으며, 수송차량은 같은 수송차량이 할당되어도 무방하므로 점(Point) 돌연변이를 적용하였다.

바. 해 개선(Improvement Solution)

구성된 보급로를 개선하기 위하여 2-opt 기법을 적용하였다. 2-opt 기법은 구성된 보급로 내에서 임의의 두 경로를 바꾸어 적합도 개선 여부를 확인한 후 적합도가 개선되면 그 결과를 반영하는 지역탐색 알고리즘으로 다음 Fig. 3과 같으며, 매 세대별 적합도 평가 이후 가장 우수한 해에 적용함으로써 세대 초기부터 우수한 해를 얻을 수 있었다.

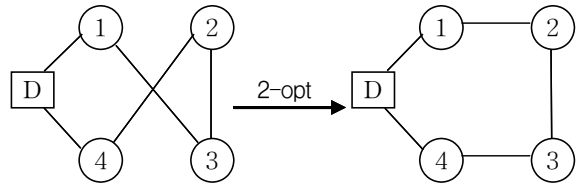


Fig. 3. 2-opt

사. 적합도 평가(Evaluate Fitness)

적합도 평가 함수는 본 연구의 목적함수인 총 소요시간의 최소화를 위해 식 (11)과 같이 총 소요시간이 적을수록 높은 적합도 값을 얻을 수 있는 총 소요시간의 역수로 하였다.

$$fitness = \frac{1}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M t_{ijk} \cdot x_{ijkm} + \sum_{i=1}^N S_i} \quad (11)$$

아. 유전 파라미터(Genetic Parameter)

유전자 알고리즘이 확률과 파라미터에 의하여 다양

한 결과를 발생시키기 때문에 유전자 알고리즘의 성능을 좌우하는 몇 가지 요인들을 고려해야 한다. 이러한 요인들로는 모집단 크기(Population Size), 교차 확률(Pc), 돌연변이 확률(Pm), 세대(Generation) 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 유전 파라미터들이 적합도에 미치는 영향을 반복 실험하여 비교한 후 알고리즘과 문제의 특성에 맞는 파라미터를 적용하였으며, 본 연구의 유전 파라미터는 다음 Table 2와 같다.

Table 2. 유전 파라미터

유전 파라미터	모집단 크기	교차확률 (P _c)	돌연변이 확률(P _m)	종료 세대수
적용 값	100	0.75	0.02	1,000

4. 수리모형 검증 및 알고리즘 실험 결과

가. 실험 계획

본 연구에서는 Solomon^[17]이 제시한 실험 예제를 바탕으로 1개의 보급 지원부대와 25개의 전투부대로 구성된 3개의 예제(R-type, C-type, RC-type)에 대하여 실험하였다. Solomon 예제는 전투부대의 분포에 따라 3가지 유형으로 분류되는데 사분면에 임의(Randomly)

로 분포되어 있는 R-type, 밀집(Clustered)되어 있는 C-type, 임의와 밀집이 혼합(Mixed)되어 있는 RC-type이 있으며, Fig. 4와 같다.

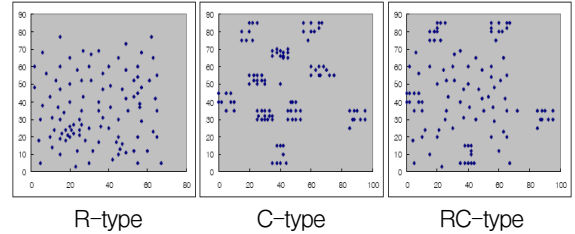


Fig. 4. Solomon 예제의 유형별 전투부대 분포

전투부대간의 거리는 유클리드 내적을 이용하였으며, 각 전투부대에서의 보급 소요시간은 60분을 적용하였고, 수송차량의 적재용량은 100으로 동일하게 적용하여 실험을 수행하였다.

각 보급로에 대한 전투치열도는 크게 3가지로 구분하였으며, 격렬한 전투가 수행중인 보급로는 상급, 소규모 전투 및 간헐적인 전투가 수행중인 보급로는 중급, 소강상태에 있는 보급로는 하급으로 구분하였다. 전투치열도에 따른 수송차량의 속력은 상급 15km, 중급 30km, 하급 60km로 적용하였으며, 각 보급로별 전투치열도는 다음 Table 3과 같다.

Table 3. 보급로별 전투치열도

전투치열도 (속력)	보급로
상급(15km/h) [격렬한 전투]	0→4/7/11/16/18/20/25, 1→0/6/7/12/15/19/20/24, 2→3/8/14/18/23, 3→0/2/4/9/13/16/21/24, 4→2/8/10/15/17/22, 5→3/6/13/14/18/23, 6→0/4/9/10/21, 7→1/11/14/17/23/25, 8→0/7/10/15/22, 9→4/5/13/16/20, 10→1/6/9/12/17/23, 11→0/8/12/18/25, 12→2/5/10/14/18/24, 13→3/6/12/15/21, 14→1/5/8/13/17/20, 15→0/4/6/11/16/22/25, 16→0/1/7/9/13/14/17/23, 17→3/6/15/19/21/24, 18→2/10/12/19/20, 19→1/9/11/14/21/22/25, 20→3/5/7/13/19/24, 21→0/3/5/10/12/18/20/22, 22→3/5/13/15/17/25, 23→5/8/10/19/24, 24→2/6/11/14/18/23, 25→0/2/7/12/15/16/21
중급(30km/h) [소규모 및 간헐적 전투]	0→3/5/8/12/13/19/21/22, 1→2/4/9/11/13/17/22/23, 2→0/7/10/13/15/20/24, 3→1/5/12/14/19/25, 4→7/9/16/18/21, 5→0/1/15/20/21/22/25, 6→2/5/16/20, 7→4/8/10/13/15/18/22/24, 8→14/17/19/23, 9→1/2/6/17/19/25, 10→0/3/8/14/16/20, 11→15/16/19/22, 12→3/4/8/9/17/25, 13→0/1/5/7/11/19/24, 14→0/2/6/10/12/18/23, 15→1/8/13/14/17/20/21, 16→3/4/6/8/10/15/19/25, 17→0/2/8/13/18/22/25, 18→5/9/11/16/21, 19→3/5/8/12/13/18/20/24, 20→0/1/4/6/10/17/23, 21→4/8/9/15/16/19/25, 22→2/7/10/11/14/18/21/24, 23→0/6/12/16/20, 24→1/5/9/15/17/19/25, 25→3/8/13/14/20/22/23
하급(60km/h) [소강상태]	전투치열도 상급, 중급을 제외한 나머지 보급로

나. 수리모형 검증

본 연구에서 제안한 수리모형의 검증을 위하여 R-type 예제를 축소시켜 전투부대 5개(1~5번), 수송차량 2대인 예제를 구성하였으며, Table 3의 보급로별 전투치열도를 적용하였다. CPLEX 11.1과 유전자 알고리즘을 이용하여 보급로에 대한 수송차량의 이동거리 및 총 소요시간을 산출한 후 비교하였으며, 수리모형 검증 결과는 다음 Table 4와 같다.

Table 4. 수리모형 검증 결과

구 분	CPLEX 11.1	유전자 알고리즘
보 급 로	D-1-3-5-2-4-D	D-1-3-5-2-4-D
이동거리	141.59km	141.59km
총 소요시간	484.31분	484.31분

CPLEX 11.1을 이용하여 산출한 수리모형의 이동거리 및 총 소요시간과 본 연구에서 제안한 유전자 알고리즘의 결과가 동일하게 도출되어 본 연구에서 제시한 수리모형의 타당성을 입증하였다.

다. 알고리즘 실험 결과

본 연구에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 전투지역에서 제한된 적재능력을 보유한 수송차량으로 보급로상의 전투치열도를 고려하고, 총 소요시간을 최소화하는 후속 군수지원의 최적 보급로를 구성하는 실험을 수행하였으며, 실험 결과는 다음 Table 5와 같다.

전투지역 내에서 전투부대가 임의로 분포되어 있는

R-type 예제의 실험 결과 총 소요시간은 2,152.57분, 이동거리는 581.96km, 수송차량은 4대가 운행되는 것으로 산출되었으며, 구성된 보급로는 다음 Fig. 5와 같다.

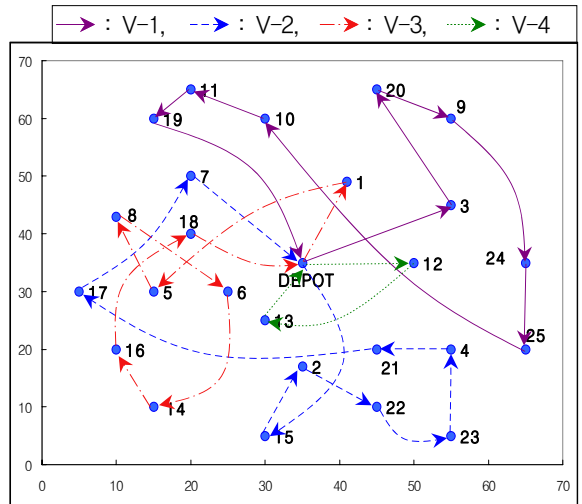


Fig. 5. R-type 예제의 보급로

전투부대가 전투지역에 밀집되어 있는 C-type 예제의 실험 결과 총 소요시간은 1,946.23분, 이동거리는 356.35km, 수송차량은 5대가 운행되는 것으로 산출되었으며, 구성된 보급로는 다음 Fig. 6과 같다.

전투부대가 전투지역에 임의와 밀집이 혼합되어 있는 RC-type 예제는 총 소요시간이 2,090.01분, 이동거리는 557.97km, 수송차량은 6대가 운행되었으며, 구성된 보급로는 다음 Fig. 7과 같다.

Table 5. 알고리즘 실험 결과

구 분	R-type	C-type	RC-type
보 급 로	V-1 : D-3-20-9-24-25-10-11-19-D V-2 : D-15-2-22-23-4-21-17-7-D V-3 : D-1-5-8-6-14-16-18-D V-4 : D-12-13-D	V-1 : D-14-16-12-19-18-D V-2 : D-15-17-11-13-D V-3 : D-2-1-3-6-9-10-4-D V-4 : D-5-7-8-25-23-D V-5 : D-24-20-21-22-D	V-1 : D-23-21-25-20-18-D V-2 : D-17-16-15-13-14-12-D V-3 : D-1-3-8-4-D V-4 : D-24-22-19-D V-5 : D-6-2-5-7-D V-6 : D-10-11-9-D
이동거리	581.96km	356.35km	557.97km
총 소요시간	2,152.57분	1,946.23분	2,090.01분
수송차량	4대	5대	6대

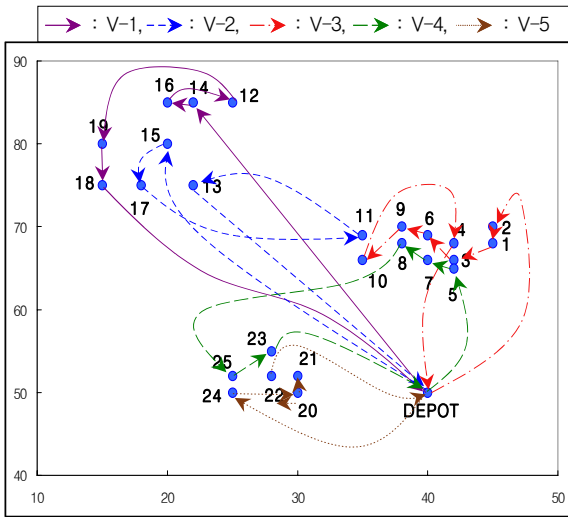


Fig. 6. C-type 예제의 보급로

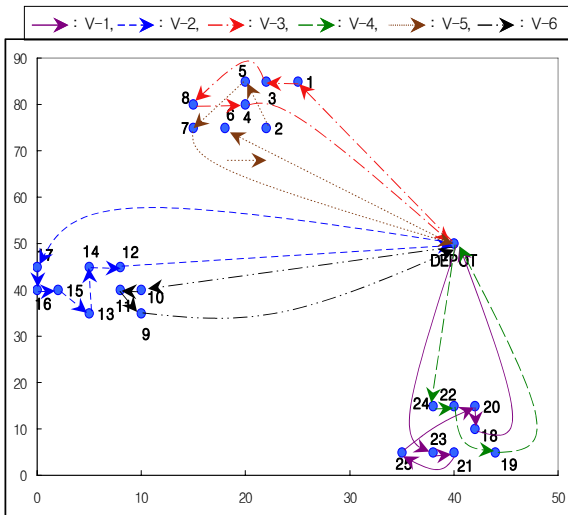


Fig. 7. RC-type 예제의 보급로

각각의 실험 예제 유형별로 유전자 알고리즘을 이용하여 구성한 후속 군수지원의 보급로에 적용된 전투치열도는 다음 Fig. 8과 같다.

본 연구에서 제안한 유전자 알고리즘은 전투치열도를 고려하여 총 소요시간이 최소화 되도록 보급로를 구성하는 알고리즘으로 전투가 격렬한 상급의 보급로를 가급적 피하고, 전투가 소강상태에 있는 하급의 보급로 위주로 적용되어 총 소요시간을 단축하는 후속 군수지원의 보급로를 구성할 수 있었다.

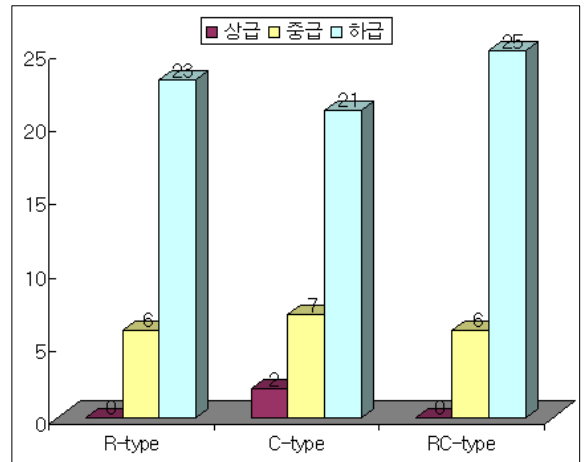


Fig. 8. 예제 유형별 보급로의 전투치열도

5. 결론

본 연구에서는 전투지역에서 전투치열도와 제한된 적재능력을 보유한 수송차량을 고려하고, 총 소요시간을 최소화하는 후속 군수지원의 보급로를 구성하기 위하여 수리모형과 유전자 알고리즘을 제시하였다.

실험 결과 전투가 격렬한 상급의 보급로를 가급적 피하고, 전투가 소강상태에 있는 하급의 보급로 위주로 적용되어 총 소요시간을 단축하는 후속 군수지원의 보급로를 구성할 수 있었다. 또한 본 연구에서 제안한 알고리즘이 초기 모집단 형성시 구성형 기법인 Clark & Wright 알고리즘을 적용함으로써 우수한 초기 해를 생성할 수 있었으며, 적합도 평가 이후 개선형 기법인 2-opt 과정을 통하여 해의 개선이 가속됨으로써 수렴 속도가 매우 빠르고, 우수한 해를 찾을 수 있었다.

전쟁을 수행함에 있어 후속 군수지원은 승패를 판가름하는 중요한 요소 중 하나이며, 적시·적소에 군수지원을 함으로써 전투부대의 전쟁 지속능력을 유지할 수 있다. 이러한 후속 군수지원을 위한 보급로를 구성함에 있어 보급로상의 전투치열도를 고려한다면 보급에 소요되는 시간을 최소화할 수 있을 것이다.

Reference

- [1] 국방부, 국방 군수 용어사전, 2008.

- [2] Brandao, J. and Mercer, A., "A Tabu Search Algorithm for the Multi-trip Vehicle Routing and Scheduling Problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 100, No. 1, pp. 180~191, 1996.
- [3] Bullnheimer, B., Hartl, R. F. and Strauss, C., "Applying the Ant System to the Vehicle Routing Problem", 2nd International Conference on Metaheuristics, 1997.
- [4] Chiang, W. C. and Russell, R. A., "Simulated Annealing Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Annals of Operations Research*, Vol. 63, No. 1, pp. 3~27, 1996.
- [5] Christofides, N. and Elion, S., "An Algorithm for the Vehicle Dispatching Problem", *Operational Research Quarterly*, Vol. 20, No. 3, pp. 309~318, 1969.
- [6] Clark, G. and Wright, J. W., "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points", *Operations Research*, Vol. 12, No. 4, pp. 568~581, 1964.
- [7] Cook, W. and Rich, J. L., "A Parallel Cutting-Plane Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", Technical Report, Computational and Applied Mathematics, Rice University, 1999.
- [8] Dantzig, G. B. and Ramser, J. H., "The Truck Dispatching Problem", *Management Science*, Vol. 6, No. 1, pp. 80~91, 1959.
- [9] Garey, M. and Johnson, D., *Computers and Intractability; A Guide to the Theory of NP-Completeness*, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1976.
- [10] Gendreau, M., Hertz, A. and Laporte, G., "New Insertion and Postoptimization Procedures for the Traveling Salesman Problem", *Operations Research*, Vol. 40, No. 6, pp. 1086~1094, 1992.
- [11] Goldberg, D. and Lingle, R., "Alleles, Loci, and The Traveling Salesman Problem", *Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*, pp. 154~159, 1985.
- [12] Holland, J. H., "Adaption in Natural and Artificial Systems", University of Michigan Press, 1975.
- [13] Lenstra, J. K. and Rinnooy Kan, A. H. G., "Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems", *Networks*, Vol. 11, No. 2, pp. 221~227, 1981.
- [14] Magnanti, T. L., "Combinatorial Optimization and Vehicle Fleet Planning: Perspectives and Prospects", *Networks*, Vol. 11, No. 2, pp. 179~213, 1981.
- [15] Potvin, J. Y. and Bengio, S., "A Genetic Approach to the Vehicle Routing Problem with Time Windows", Technical Report CRT-953, Centre de Recherche sur les Transports, University of Montreal, 1994.
- [16] Reimann, M., Doerner, K. and Hartl, R. F., "D-ants : Savings Based Ants Divide and Conquer the Vehicle Routing Problem", *Computer and Operations Research*, Vol. 31, No. 4, pp. 563~591, 2004.
- [17] Solomon M. M., "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints", *Operations Research*, Vol. 35, No. 2, pp. 254~265, 1987.