

재난 지역 다수 조난자 구조를 위한 최적 경로 계획 알고리즘 연구

김기태* · 조성진* · 전건욱*

*국방대학교 운영분석학과

A Study on the Optimal Routing Planning Algorithm for Rescue of Multiple Victims in Disaster Area

Ki-Tae Kim* · Sung-Jin Cho* · Geon-wook Jeon*

*Korea National Defense University Department of Operations Research

Abstract

The large-scale disasters occur to unexpected accidents such as natural disasters(earthquake, typhoon, tsunami, etc.), and human-caused accidents(fire, collapse, terror etc.). Rescue teams perform rescue activities to save many lives in large-scale disaster area. The main purpose of this study is to compose a optimal routing planning for rescue of multiple victims in disaster area. A realistic routing planning with rescue limit time which considers rehabilitation and reconstruction will be suggested in this study. A mathematical programming model and a hybrid genetic algorithm will be suggested to minimize the total spending time. By comparing the result, the suggested algorithm gives a better solution than existing algorithms.

Keywords : Routing Planning, Rescue, Victim, Disaster, Genetic Algorithm

1. 서론

재난은 뜻밖의 사고로 인하여 생기는 인명이나 재산의 피해를 의미하며, 태풍, 홍수, 지진, 해일 등 자연현상의 변화로 인한 자연재난과 화재, 붕괴, 테러, 교통사고 등 인위적인 사고로 인한 인적재난으로 구분한다[1].

국내에서는 1994년 성수대교가 붕괴하여 32명이 사망하고, 17명이 부상하는 사건이 발생하였고, 1995년 삼풍백화점 건물이 무너져 사망자 501명, 부상자 937명, 실종 6명, 약 2,700억 원의 피해가 발생하였으며, 적극적인 구조작업으로 건물 붕괴 이후 17일 만에 조난자를 구조하기도 하였다. 이러한 재난은 교각 및 건물에 대한 형식적인 안전점검과 관리 소홀로 인하여 발생한 인적재난의 대표적인 사례이다.

해외에서는 2004년 인도네시아 수마트라섬 인근에서 발생한 리히터 규모 8.9의 초강력 지진이 발생하였으며, 이로 인한 지진해일로 약 30만 명의 인명피해와 인도네시아, 스리랑카, 인도 등의 동남아시아 국가에 막대한 인적·물적 피해를 입혔다. 2008년에는 중국의 쓰촨

성에서 리히터 규모 8.0의 대지진이 발생하였으며, 인명피해가 약 45만 여명, 경제적 피해가 1,500억 위안에 달한다. 가장 최근인 2010년에는 아이티와 칠레에 각각 리히터 규모 7.0과 8.8의 강진이 발생하였고, 아이티는 사망자 및 이재민이 약 300만 명에 이르며, 칠레는 300여명의 사망자와 200만 명 이상의 이재민이 발생하였다. 이러한 재난은 자연 현상에서 기인한 자연재난이며, 세계 각국의 도움으로 오늘날에도 구조 및 재건 활동이 지속적으로 이루어지고 있다.

재난으로 인한 인명피해는 재난과 동시에 대부분 발생하지만 재난 이후의 적극적인 구조 활동으로 조금이나마 줄일 수 있으며, 막대한 인명피해를 최소화하기 위해서 구조대는 재난 지역에 분포된 조난자의 위치와 상태를 고려하여 재난이 발생한 시점으로부터 최단 시간 내에 조난자를 구조한 후 병원으로 후송해야 할 것이다. 이는 Dantzig & Ramser[3]에 의해 제기된 차량 경로문제(Vehicle Routing Problem)와 유사한 조합 최적화 문제(Combinatorial Optimization Problem)이며, Garey와 Johnson[4]은 NP-hard문제를 보였다.

† 교신저자: 김기태, 서울특별시 은평구 수색동 205번지, 국방대학교 운영분석학과

Tel: 02-300-2173, E-mail: navystar52@naver.com

2010년 4월 9일 접수; 2010년 5월 28일 수정본 접수; 2010년 6월 1일 게재확정

재난 지역에서 조난자의 사망을 최소화하기 위한 경로문제 연구로 Shen et al.[7]은 사망자를 최소화하기 위하여 의료물품을 공항이나 중앙 창고로부터 대형 재난 발생지의 병원이나 임시 치료소에 공급하는 엄격한 시간제약(Hard Time Windows) 차량경로문제를 제시하였으며, 금단검색법(Tabu Search)을 이용하여 해결하였다. Liu et al.[6]은 Shen et al.[7]의 연구에 유연한 시간제약(Soft Time Window)을 적용하였으며, 총 시간지연을 최소화하는 휴리스틱 기법을 이용하였다.

기존의 수색구조를 위한 연구는 조난 위치를 예측하거나 수색구조선의 배치 및 수색 절차에 관한 연구와 의료 물품을 수송하기 위한 경로문제를 다루고 있으며, 재난 발생시 구조 활동과 동시에 복구 및 재건 활동이 시작되는데 이러한 부분의 반영은 전무하였다.

본 연구에서는 재난이 발생한 지역에서 구조 경로를 재난이나 복구 및 재건 활동에 따라 완파·중파·소파·복구완료의 4가지 상황으로 구분하여 반영하고, 구조대의 제한된 구조 능력을 고려하였으며, 조난자의 사망을 최소화하면서 다수의 조난자를 구조하기 위하여 총 소요시간을 최소화하는 구조대의 최적 방문 경로를 계획하였다. 구조대의 최적 경로를 위한 수리모형을 구축하였으며, 일반 유전자 알고리즘의 우수한 초기 해를 생성하기 위하여 Clark & Wright[2] 휴리스틱 기법을 적용하고, 매 세대 적합도 평가 이후 해를 개선하기 위하여 2-opt 휴리스틱 기법을 적용한 Hybrid 유전자 알고리즘을 제시하였다.

2. 수리모형의 구축

2.1 모형의 개요 및 가정

본 연구에서는 재난이 발생한 지역에서 구조대의 제한된 구조 능력을 고려하고, 조난자의 사망을 최소화하면서 다수의 조난자를 구조하기 위하여 총 소요시간을 최소화하는 구조대 최적 경로를 계획하는 문제를 다루고자 한다. 여기서 총 소요시간은 구조대의 이동 소요시간과 조난 위치에서의 구조 소요시간을 합한 것이다.

재난이 발생한 지역에서 단일 병원을 중심으로 전체 N 개의 조난 위치에 대하여 제한된 수의 구조대가 활동하고 있고, 조난 위치에서의 구조 소요시간과 구조대의 구조 능력은 일정한 것으로 적용하였다. 조난자의 상태는 구조가 가능한 제한시간을 설정하여 반영하였으며, 조난 위치와 조난자 수는 수색활동에 의하여 확인된 것으로 모형을 구축하였다.

모형의 구축을 위한 가정은 다음과 같다.

- ① 구조대의 출발과 종착은 병원에서만 이루어진다.
- ② 각 조난 위치에서의 조난자 수는 구조대의 1회 방문

에 의해서 모두 구조되며, 각 조난 위치는 구조대의 1회 방문만 허용한다.

- ③ 각 구조대의 경로에 포함된 조난 위치에서의 조난자 수를 합한 것은 구조대의 구조 능력을 초과할 수 없다.
- ④ 각 구조 경로별 재난이나 복구 및 재건 상황은 알려져 있다.

2.2 용어의 정의 및 수리모형

본 연구의 수리모형에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

- n : 조난 위치의 수($n = 0, 1, 2, \dots, N$)
- i, j : 조난 위치($i, j = 0, 1, 2, \dots, N, i = j = 0$: 병원)
- k : 경로 상황($k = 1$: 복구완료, $k = 2$: 소파, $k = 3$: 중파, $k = 4$: 대파)
- m : 구조대의 수($m = 1, 2, \dots, M$)
- t_{ijk} : 경로 상황 k 하에서 조난 위치 i 지점에서 j 지점으로의 이동 소요시간
- x_{ijkm} : 구조대 m 이 경로 상황 k 하에서 조난 위치 i 지점에서 j 지점으로의 이동 여부
- RT_i : 조난 위치 i 에서의 구조 소요시간
- V_i : 조난 위치 i 에서의 조난자의 수
- LT_j : 조난 위치 j 에서의 구조 가능 제한시간
- ST_{im} : 조난 위치 i 에서 구조대 m 의 출발시간
- C : 구조대의 구조 능력
- T : 조난 위치들의 부분집합

본 연구의 목적함수와 제약함수로 구성된 수리모형은 다음과 같다.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$ST_{im} + \sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^K t_{ijk} \cdot x_{ijkm} \leq LT_j \quad (9)$$

$$j = 1, 2, \dots, N \text{ and } m = 1, 2, \dots, M$$

$$ST_{im} \leq RT_i + LT_i \quad (10)$$

$$i = 1, 2, \dots, N \text{ and } m = 1, 2, \dots, M$$

$$x_{iikm} = 0, \quad x_{jjkm} = 0 \quad \forall i, j, k, m \quad (11)$$

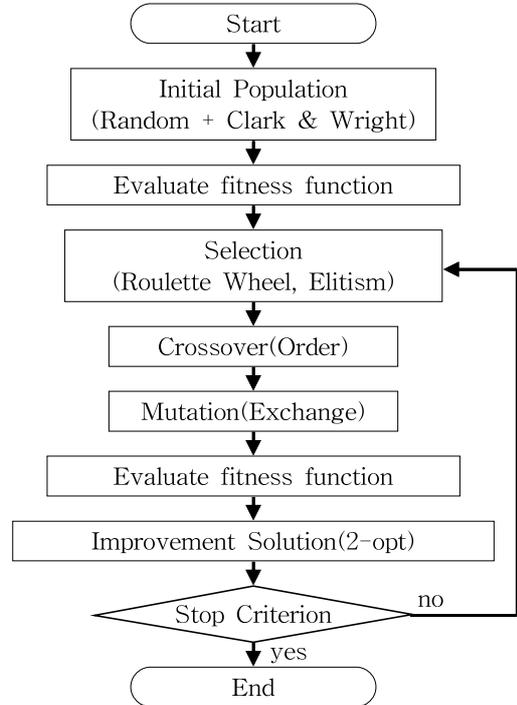
$$x_{ijkm} = \begin{cases} 1, & \text{구조대가 이동하면} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases} \quad \forall i, j, k, m \quad (12)$$

본 수리모형의 목적함수 식(1)은 구조대의 이동 소요 시간과 조난 위치에서의 구조 소요시간의 합인 총 소요시간을 최소화시키는 것이다. 제약함수 식(2)와 식(3)은 각 조난 위치에 구조대가 한 번만 방문할 수 있다는 1회 방문의 제약을 의미하고, 제약함수 식(4)는 구조대가 임의의 조난 위치에 도착하여 구조 활동을 종료한 후에 반드시 다른 조난 위치나 병원으로 출발해야 한다는 구조대 이동의 연속성을 나타낸다. 제약함수 식(5)는 각 구조 경로에 포함된 조난 위치의 총 조난자수는 구조대의 구조 능력을 초과할 수 없음을 의미하고, 제약함수 식(6)과 식(7)은 병원을 출발하는 구조대가 병원 복귀 이후 반복해서 구조 활동을 할 수 없음을 의미한다. 제약함수 식(8)은 부분 경로의 형성을 방지하기 위한 제약으로 조난 위치의 수 N 에 따라 $2^N - 1$ 개의 식으로 구성되고, 제약함수 식(9)는 구조대가 이전 조난 위치에서 출발하여 다음 조난 위치로 갔을 경우 적어도 구조 가능 제한시간 이전에 도착해야 한다는 의미이며, 제약함수 식(10)은 구조 가능 제한시간을 만족해야 한다는 의미이다. 제약함수 식(11)은 동일 조난 위치로 이동할 수 없다는 의미이고, 제약함수 식(12)는 조난 위치간 구조대의 이동이 있으면 1, 없으면 0을 나타내는 결정변수 제약이다.

3. Hybrid 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 생물의 진화과정, 즉 자연선택과 유전법칙을 모방한 확률적 탐색기법으로 Holland[5]에 의해서 처음으로 소개되었다. 본 연구에서는 우수한 초기 해를 생성하기 위하여 Clark & Wright 휴리스틱 기법을 적용하고, 매 세대 적합도 평가 이후 해를 개선하기 위하여 2-opt 휴리스틱 기법을 적용한 Hybrid 유전자 알고리즘을 구축하였으며, 수행절차는 다음 <그림 1>과 같다.

본 연구의 유전자 표현은 다음 <그림 2>와 같이 수요지를 나타내는 1개의 String으로 이루어진 정수형 구



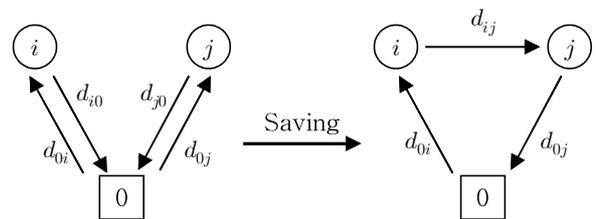
<그림 1> Hybrid 유전자 알고리즘

조로 설정하였다. 구조대는 표현된 조난 위치를 순서대로 방문하며, 구조 능력과 구조 가능 제한시간을 고려하여 순차적으로 구조대를 할당하였다.

초기 모집단을 생성하는 방법으로는 임의생성 기법과 Clark & Wright 휴리스틱 기법을 혼합한 혼용 기법을 이용하여 구성 하였다. Clark & Wright 휴리스틱 기법은 다음 <그림 3>과 같이 경제적인 경로를 형성할 수 있도록 유도하여 우수한 초기 해를 산출해주는 역할을 한다. <그림 3>의 (a)와 같이 각 조난 위치를 왕복하는 경우와 (b)와 같이 조난 위치를 경유하는 경우의 이동 거리 차이인 절약(Saving) 값을 구한 후 크기의 내림차순으로 절약목록을 작성하고, 이 절약목록에서 절약이 가장 큰 조난 위치로 경로를 형성한다.

조난 위치	2	8	5	6	4	1	3	7
-------	---	---	---	---	---	---	---	---

<그림 2> 유전자 표현



(a) 조난 위치 왕복

(b) 조난 위치 경유

<그림 3> Clark & Wright 휴리스틱

총 소요시간의 최소화를 위해 적합도 평가 함수는 구조 가능 제한시간 이후에 구조대가 도착한 경우에 100분의 벌금(Penalty)을 주었으며, 식(13)과 같이 총 소요시간이 적을수록 높은 적합도 값을 얻을 수 있는 총 소요시간의 역수로 하였다.

$$fit = \frac{1}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M t_{ijk} \cdot x_{ijkm} + \sum_{i=1}^N RT_i + Penalty} \quad (13)$$

선별은 세대별 우수한 해의 생존을 보장하고, 지역해로의 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.

교차는 조난 위치가 구조 경로를 구성함에 있어 중복되면 경로가 형성되지 않으므로 상대적인 순서가 유지되는 순서교차(Order Crossover)를 적용하였으며, 돌연변이는 중복되는 유전자가 발생하지 않도록 교환돌연변이(Exchange Mutation)를 적용하였다.

구성된 구조 경로를 개선하기 위하여 2-opt 휴리스틱 기법을 적용하였다. 2-opt 기법은 임의의 두 경로를 바꾸어 적합도 개선 여부를 확인한 후 적합도가 개선되면 그 결과를 반영하는 지역탐색 알고리즘으로 다음 <그림 4>와 같다.

유전 파라미터는 적합도에 미치는 영향을 반복 실험을 통해 비교한 후 알고리즘과 문제의 특성에 맞는 파라미터를 적용하였으며, 본 연구의 유전 파라미터는 다음 <표 1>과 같다.

4. 실험 결과

4.1 실험 계획

본 연구에서는 Solomon[8]이 제시한 실험 예제를 바탕으로 1개의 병원과 25개의 조난 위치로 구성된 3개의 예제에 대하여 실험하였다. 실험 예제는 조난 위치의 분포에 따라 재난 지역에 임의(Randomly)로 분포되어 있는 R-type, 밀집(Clustered)되어 있는 C-type, 임의와 밀집이 혼합(Mixed)되어 있는 RC-type의 3가지 유형으로 분류하였으며, 다음 <그림 5>와 같다.

조난자의 상태를 반영하는 구조 가능 제한시간은 실험 예제의 종료시간(Due Time)을 적용하였고, 조난 위치간의 거리는 유클리드 내적을 이용하였으며, 각 조난 위치에서의 구조 소요시간은 10분 적용하였고, 구조대는 5개 팀으로서 구조 능력은 200명으로 하였다.

재난이나 복구 및 재건 활동에 따른 경로 상황은 대파·중파·소파·복구완료의 4가지 상황으로 구분하였고, 구조대의 이동시간 계산은 복구완료시 이동거리와 동일, 중파 1.5배, 소파 2배, 대파 4배로 가정하여 적용하였으며, 각 경로별 상황은 다음 <표 2>와 같다.

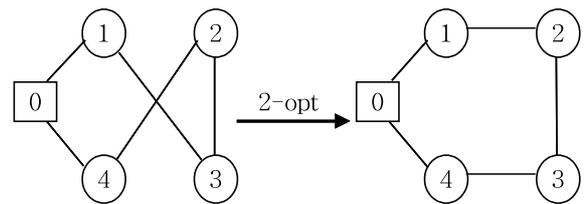
4.2 수리모형의 검증

본 연구에서 제안한 수리모형의 검증을 위해 R-type 예제를 축소시켜 조난 위치 5개(1~5번), 구조대 2팀(구조 능력 200명)인 예제를 구성하였다. CPLEX 11.1과 Hybrid 유전자 알고리즘을 이용하여 구조대의 이동거리 및 총 소요시간을 산출한 후 비교하였으며, 수리모형 검증 결과는 다음 <표 3>과 같다.

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

4.3 수치 실험 결과

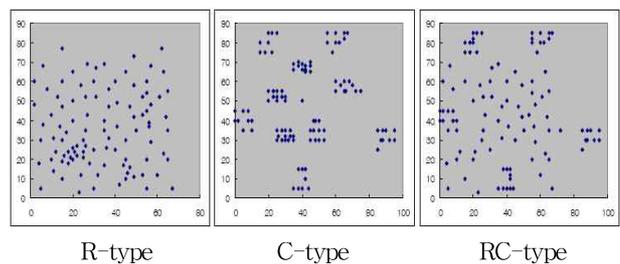
본 연구에서 제안한 해법의 유효성을 평가하기 위하여 Nearest Neighbor Search(NNS), Clark & Wright 휴리스틱(CWH), 일반 유전자 알고리즘(GGA), Hybrid 유전자 알고리즘(HGA)으로 각각 경로를 구성한 후 문제 유



<그림 4> 2-opt

<표 1> 유전 파라미터

유전 파라미터	모집단 크기	교차확률 (P _c)	돌연변이 확률(P _m)	종료 세대수
적용 값	100	0.8	0.02	1,000



<그림 5> 실험 예제 유형별 조난 위치 분포

<표 2> 경로별 상황

경로 상황	경로
복구완료 (이동거리=이동시간)	0→4/11/18/20/25, 1→6/7/15/19/20/24, 2→8/14/18/23, 3→0/4/13/16/24, 4→2/10/17, 5→3/14/18/23, 6→4/9/21, 7→1/14/17/23, 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→2/5/14/18, 13→3/6/15, 14→1/5/13/17, 15→4/11/16/22, 16→0/1/9/13/17/23, 17→6/19/21/24, 18→2/10/19/20, 19→1/11/22/25, 20→3/5/19/24, 21→0/5/10/12/18/22, 22→5/13/15/25, 23→5/8/10/19/24, 24→2/11/18/23, 25→0/7/15/21
소파 (이동거리=1.5×이동시간)	0→3/7/13/16/22, 1→0/4/12/17/23, 2→3/5/10/15/20, 3→2/9/14/21/25, 4→3/8/15/22, 5→1/6/13/20/25, 6→0/5/10/17, 7→6/11/13/22/25, 8→5/13/18/20, 9→3/6/11/19/21, 10→0/4/16/24, 11→5/9/14/20, 12→0/3/10/17/24, 13→1/7/12/21, 14→2/8/10/18/20, 15→0/1/6/13/21/25, 16→4/7/10/14/19, 17→3/8/15/22, 18→1/9/12/16, 19→0/5/9/13/14/21/24, 20→2/6/7/13/17, 21→3/9/11/16/20, 22→0/3/7/12/14/17/24, 23→1/9/15/21, 24→5/6/14/17/22, 25→2/8/12/16/20/23
중파 (이동거리=2×이동시간)	0→5/8/12/19/21, 1→2/9/11/13/22, 2→0/7/13/24, 3→1/5/12/19, 4→7/9/16/18/21, 5→0/15/21/22, 6→2/16/20, 7→4/8/10/15/18/24, 8→14/17/19/23, 9→0/1/2/17/25, 10→3/8/14/20, 11→15/16/19/22, 12→4/8/9/25, 13→0/5/11/19/24, 14→0/6/12/23, 15→8/14/17/20, 16→3/6/8/15/25, 17→0/2/13/18/25, 18→5/11/21, 19→3/8/12/18/20, 20→0/1/4/10/23, 21→4/8/15/19/25, 22→2/10/11/18/21, 23→0/6/12/16/20, 24→1/9/15/19/25, 25→3/13/14/22
대파 (이동거리=4×이동시간)	복구완료, 소파, 중파를 제외한 나머지 경로

<표 3> 수리모형 검증 결과

구분	CPLEX 11.1	Hybrid GA
총 이동거리	156.35	156.35
총 소요시간(분)	298.82	298.82

형별 총 이동거리, 구조대 수, 구조 인원, 구조율을 비교하였으며, 알고리즘별 비교 결과는 다음 <표 4>와 같다.

실험 결과 총 이동거리의 경우 모든 유형의 예제에서 CWH 기법이 최단거리를 산출하였다. 이는 CWH 기법이 재난이나 복구 및 재건 활동에 따른 경로 상황은 고려하지 않고, 조난 위치간의 거리 절약 값만을 이용하

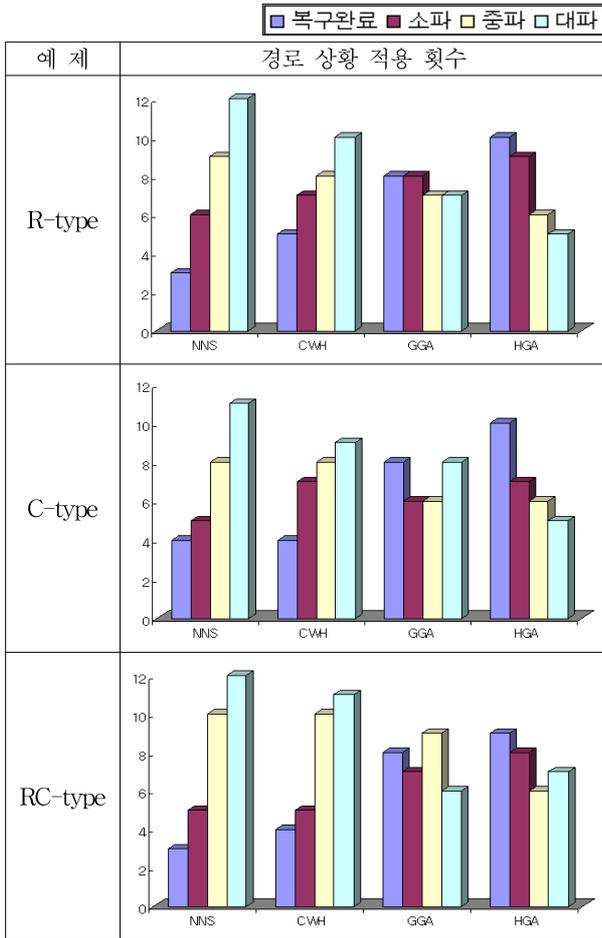
여 경로를 구성하기 때문이다. 본 연구에서 제안한 HGA는 재난이나 복구 및 재건 활동에 따른 경로 상황을 고려하여 경로를 구성하므로 CWH 기법에 비해 이동거리는 31.06~34.04 증가하였으나 구조 경로의 총 소요시간은 모든 유형의 예제에서 최단시간을 도출하였고, NNS, CWH, GGA를 이용한 실험 결과에 비해 54.65~1,409.04분의 총 소요시간을 단축할 수 있었으며, 구조율의 경우 조난 인원의 80.8~90.9%를 구조할 수 있었다. 이와 같이 모든 유형의 예제에서는 다른 해법에 비해 총 소요시간 및 구조율이 가장 우수한 것으로 확인되어 본 연구에서 제시한 알고리즘의 유효성이 입증되었다.

<표 4> 알고리즘별 실험 결과

예제 (조난 인원)	구분	NNS	CWH	GGA	HGA
R-type (330명)	총 이동거리	1273.96	872.77	961.46	906.81
	총 소요시간(분)	2,906.39	2,132.45	1,682.16	1,497.35
	구조대 수(팀)	5	5	5	5
	구조 인원(명)	126	157	225	269
	구조율(%)	37.8	47.1	67.6	80.8
C-type (440명)	총 이동거리	231.85	215.34	332.48	248.83
	총 소요시간(분)	1,428.32	1,375.72	1,121.67	1,014.47
	구조대 수(팀)	3	3	3	3
	구조 인원(명)	260	310	370	400
	구조율(%)	59.1	70.5	84.1	90.9
RC-type (540명)	총 이동거리	864.37	697.13	782.36	728.19
	총 소요시간(분)	2,234.15	1,951.37	1,447.26	1,221.35
	구조대 수(팀)	5	5	5	5
	구조 인원(명)	310	330	410	450
	구조율(%)	57.4	61.1	75.9	83.3

: 우수 해

<표 5> 알고리즘별 경로 상황 적용 횟수



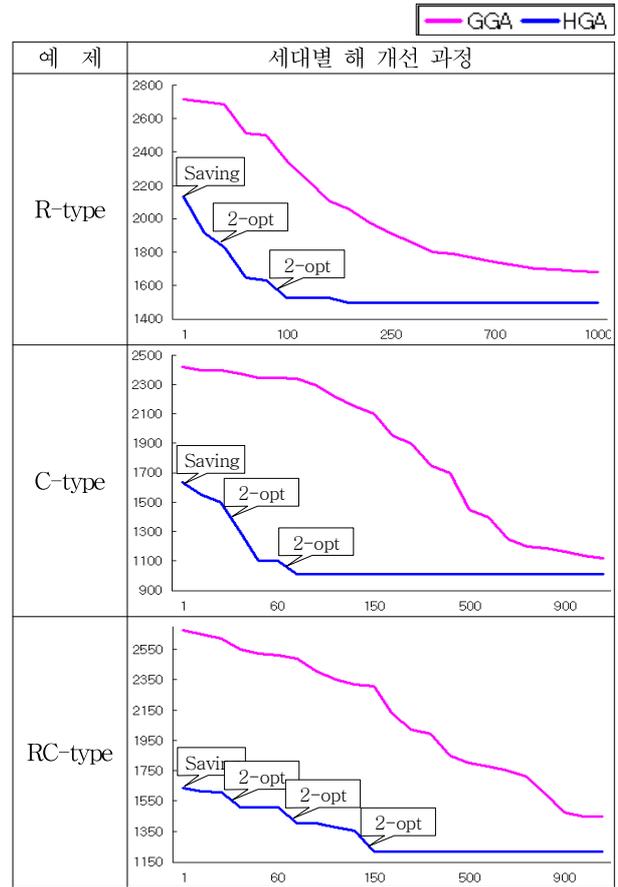
실험 예제 유형별로 각 알고리즘에 적용된 재난이나 복구 및 재건 활동에 따른 경로 상황은 다음 <표 5>와 같다. NNS와 CWH 기법은 재난이나 복구 및 재건 활동에 따른 경로 상황은 고려하지 않고, 조난 위치간의 이동 거리를 기준으로 경로를 구성하기 때문에 대파·중파의 열악한 경로 상황이 주로 적용되었으며, 구조 경로의 총 소요시간을 증가시키는 직접적인 원인이 되었다. GGA와 HGA는 경로 상황을 고려하여 총 소요시간이 최소화되도록 경로를 구성하는 알고리즘으로 대파·중파의 경로 상황을 가급적 피하고, 소파 되었거나 복구가 완료된 경로를 주요 이용하였으며, 특히 HGA를 이용한 구조 경로가 가장 양호한 경로 상황이 적용되어 총 소요시간을 단축할 수 있었다.

본 연구에서 제안한 HGA의 해 개선속도를 확인하기 위하여 GGA와 세대별 해 개선과정을 비교하였으며, 비교 결과는 다음 <표 6>와 같다.

세대별 해 개선과정 비교 결과 HGA의 초기 해가 GGA에 비해 월등하게 우수한 결과를 보여주고 있다.

이는 초기 모집단 생성시 구성형(Constructive) 기법 중 하나인 CWH 기법을 적용함으로써 우수한 초기 해를 생성할 수 있었기 때문이다. R-type, RC-type 예제에서는 그래프의 간격이 유사하게 유지되면서 해를 개

<표 6> 세대별 해 개선과정 비교



선하였으며, HGA는 약 150세대 정도 진행된 이후에 수렴되는 것을 확인하였다. C-type 예제에서는 세대가 진행될수록 그래프 간격의 차이가 점점 벌어지고, 약 200세대 이상 진행된 이후에 간격이 점진적으로 줄어드는 것을 확인할 수 있었으며, HGA는 약 80세대 정도 진행된 이후에 수렴되는 것을 확인하였다. 이는 우수한 초기 해를 바탕으로 개선형(Improvement) 기법인 2-opt 과정을 통하여 해의 개선이 가속됨으로써 초기에 우수한 해로 수렴하는 등 본 연구에서 제안한 HGA의 효율성과 우수성을 확인할 수 있었다

5. 결론

본 연구에서는 재난이 발생한 지역에서 조난자의 사망을 최소화하면서 다수의 조난자를 구조하기 위하여 재난이나 복구 및 재건 활동에 따른 상황을 반영하고, 구조대의 제한된 구조 능력을 고려하여 총 소요시간을 최소화하는 최적의 구조대 경로를 계획하는 문제를 제시하였다.

재난이나 복구 및 재건 활동에 따른 경로 상황이 반영된 Hybrid 유전자 알고리즘을 제시하였고, Clark & Wright 휴리스틱 기법에 비해 다소 이동거리는 증가하였으나 상황이 양호한 경로의 선정으로 총 소요시간의 단축 및 구조율을 증가시킬 수 있었다. 또한 Nearest

Neighbor Search 및 Clark & Wright 휴리스틱, 일반 유전자 알고리즘과 총 소요시간 및 구조율을 비교하여 본 연구에서 제안한 알고리즘의 유효성을 입증하였다.

본 연구의 Hybrid 유전자 알고리즘과 일반 유전자 알고리즘의 세대별 해 개선과정을 비교한 결과 본 연구에서 제안한 알고리즘이 초기 모집단 형성시 구성형 기법인 Clark & Wright 휴리스틱을 적용함으로써 우수한 초기 해를 생성할 수 있었고, 적합도 평가 이후 개선형 기법인 2-opt 과정을 통하여 해의 개선이 가속됨으로써 수렴 속도가 매우 빠르며, 우수한 해를 찾는 것으로 확인되었다.

구조 활동은 재난 발생과 동시에 다각적으로 이루어지며, 조난자의 위치를 확인하는 수색 활동이 선행되어야 한다. 재난으로 인한 막대한 인명피해를 최소화하기 위하여 재난 지역의 상황을 조기에 파악하고, 복구 및 재건 상황을 반영하며, 수색 및 구조 활동이 동시에 고려한다면 보다 효과적으로 현실문제에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

6. 참고 문헌

[1] 국가 재난 정보센터 홈페이지 재난자료실, 소방방재청, <http://www.safekorea.go.kr>

[2] Clark, G. and J. W. Wright, "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points," *Operations Research*, Vol.12, No.4(1964), pp.568-581.

[3] Dantzig, G. B., and Ramser, J. H., "The Truck Dispatching Problem," *Management Science*, Vol.6(1), pp.80~91, 1959.

[4] Garey, M. and Johnson, D., "Computers and Intractability; A Guide to the Theory of NP-Completeness," W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1976.

[5] Holland, J. H., "Adaption in Natural and Artificial Systems," University of Michigan Press, 1975.

[6] Liu, D., Han, J., and Zhu, J., "Vehicle Routing for Medical Supplies in Large-scale Emergencies," *The First International Symposium on Optimization and Systems Biology*, pp.412~419, 2007.

[7] Shen, Z., Dessouky, M., and Ordonez, F., "The Stochastic Vehicle Routing Problem for Large-scale Emergencies," *Technical Report 2005-06*, Department of Industrial and Systems Engineering, University of Southern California, 2005.

[8] Solomon M. M, "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints," *Operations Research*, Vol. 35(2), pp.254~265, 1987.

저 자 소 개

김 기 태



해군사관학교 기계공학과를 졸업하였고, 국방대학교 운영분석(OR) 석사학위를 취득하였으며, 현재 국방대학교 운영분석학과 박사과정에 재학중이다. 주요 관심분야는 군사 OR, 조합최적화, 경로문제, 메타휴리스틱, 신뢰도 등이다.

주소: 서울특별시 은평구 수색동 205번지, 국방대학교 운영분석학과

조 성 진



현재 국방대학교 군사운영분석학과 교수로 서울대학교 산업공학 박사학위(2008)를 취득하였다. 주요 관심분야는 최적화, 국방 M&S 등 군사 OR 분야이다.

주소: 서울특별시 은평구 수색동 205번지, 국방대학교 운영분석학과

전 건 욱



공군사관학교 전자공학과를 졸업하였고, 고려대학교 산업공학과, 미국 University of Louisville 산업공학과에서 석사 및 박사학위를 각각 취득하였다. 현재 국방대학교 운영분석학과 교수로 재직 중이며, 주요 관심분야는 최적화기법 응용, 신뢰도 분석, 시험평가, 무기체계 사전분석 및 비용분석 등이다.

주소: 서울특별시 은평구 수색동 205번지, 국방대학교 운영분석학과