

유전자 알고리즘을 이용한 시간제약 차량경로문제

전건욱* · 이윤희**

*국방대학교 운영분석학과

**육군 제1공수여단

Vehicle Routing Problems with Time Window Constraints by Using Genetic Algorithm

Geon-Wook Jeon* · Yoon-Hee Lee**

*Department of Operations Research, Korea National Defense University, Seoul, 122-875

**LBC, The 1st Air-Borne Special Forces Brigade, ROKA

The main objective of this study is to find out the shortest path of the vehicle routing problem with time window constraints by using both genetic algorithm and heuristic. Hard time constraints were considered to the vehicle routing problem in this suggested algorithm. Four different heuristic rules, modification process for initial and infeasible solution, 2-opt process, and lag exchange process, were applied to the genetic algorithm in order to both minimize the total distance and improve the loading rate at the same time. This genetic algorithm is compared with the results of existing problems suggested by Solomon. We found better solutions concerning vehicle loading rate and number of vehicles in R-type Solomon's examples R103 and R106.

Keywords : Genetic Algorithm, Vehicle Routing Problem with Time Windows, Meta Heuristic

1. 서론

차량경로문제(Vehicle Routing Problem, VRP)는 차고지에서 출발한 차량들이 서비스(배달, 수거)를 요구하는 수요지점들을 방문하고 다시 차고지로 복귀하는데 소요되는 비용(시간, 거리, 벌금 등)을 최소화하도록 차량의 경로를 결정하는 문제이다. 일반적인 VRP의 목적함수는 이동거리의 최소화이며, 제약조건은 차량, 수요지, 네트워크 형태 및 고객의 특성 등이 있다. VRP는 Dantzig and Ramser(1959)에 의해 처음으로 제기되었으며, NP-hard 문제로 알려져 있다.

시간제약 차량경로문제(VRP with Time Windows)는 기본적인 VRP에 고객의 서비스 요구시간제약을 추가한 형태의 문제로 알려져 있으며, 시간을 제약하는 방법에 따라 완화된 시간제약(soft)과 엄격한 시간제약(hard)으로

분류할 수 있다. 완화된 시간제약은 고객이 요구하는 시간대가 일부 완화된 방법이고, 엄격한 시간제약은 고객이 요구하는 시간(정시)에 서비스가 이루어지도록 하는 방법이다. 만약 차량이 먼저 도착하면 시간대 이전까지 차량은 대기 후 서비스를 실시하고, 시간대 이후에 도착 시에는 서비스가 불가능한 모형이다. 이러한 시간제약 차량경로문제는 NP-hard 문제이므로 최근 메타휴리스틱 기법을 이용한 경험적 해법들이 다양하게 제시되었다(Solomon, 1987). 특히 유전자 알고리즘을 이용한 시간제약 차량경로문제는 greedy 휴리스틱이 추가된 수정 유전자 알고리즘(Blanton and Wainwright, 1993)이 처음 소개한 이후, "Cluster First, Route Second"라는 차량경로문제 해법(Thangiah, 1995)을 통하여 새롭게 제시되었으며, 두 부모해로부터 두 개의 일부 차량경로를 결합하여 다음 세대를 구성하는 알고리즘(Potvin, 1996),

경로구성 휴리스틱을 적용하여 특정 수요지를 제거하는 혼합 유전자 알고리즘(Berger et al., 1998), 새로운 교차 및 돌연변이 연산(Bräysy and Gendreau, 2001) 등이 제안되었다.

진화전략으로는 Or-opt(Or, 1976), λ -interchanges(Osman, 1993), 2-opt(Potvin and Rousseau, 1995) 및 2-opt 기법에 기초한 Two Evolutionary Meta-heuristics(Gehring and Homberger, 2001)이 제안되었다. 유전자 알고리즘 외에도 시간제약 차량경로문제를 해결하기 위하여 다른 유형의 메타 휴리스틱 기법(Tan et al., 2001)들이 최근에도 연구되고 있다.

시간제약 차량경로문제에 대한 해법으로 메타 휴리스틱 기법이 많이 사용되고 있지만, 하나의 알고리즘만으로는 문제해결이 효율적이지 않으므로 대부분 다른 휴리스틱 기법을 추가하거나 메타 휴리스틱 기법을 혼용한 알고리즘을 사용하고 있다.

대부분의 시간제약 차량경로문제는 실험예제를 통하여 알고리즘의 성능을 비교하였으며, 실험예제 유형별로 적용된 알고리즘의 성능이 다소 상이하며, 특히 시간대 제약을 극복하기 위하여 차량의 적재용량에는 큰 비중을 주지 않고 문제에 접근하였다. 예를 들면 대부분의 예제 문제에서 알 수 있듯이 수요량은 30 이하의 제한된 수요량을 요구하는 반면 차량의 용량은 200 이상으로 수요량에 비하여 대용량 차량들로 문제를 구성하였으며, 차량대수는 제한을 받지 않도록 충분하게 할당하는 경우가 대부분이다. 그러므로 차량의 적재율이 낮아지게 되고, 차량의 효율적인 운용이 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 2가지 시간 제약 형태 중 엄격한 시간 제약을 갖는 문제를 다루었으며, 차량의 적재율과 시간 제약을 동시에 고려하여 차량의 운행거리를 최소화하는 유전자 알고리즘을 제시한다.

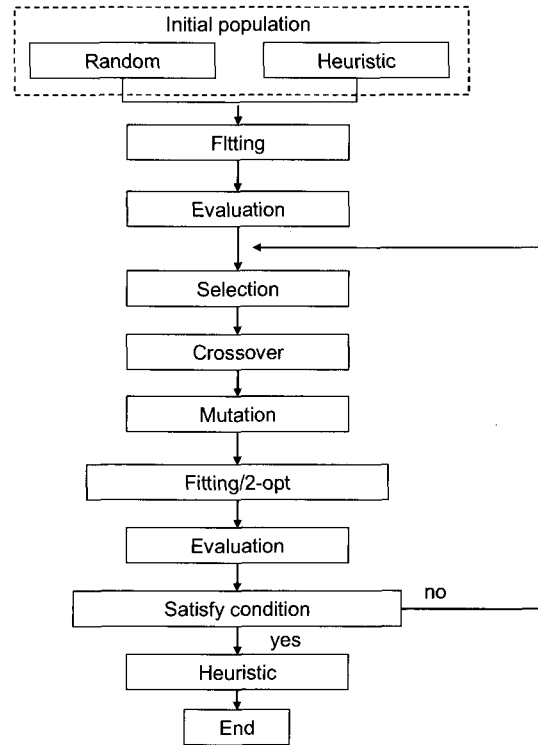
2. 유전자 알고리즘을 이용한 모형 구축

차량의 대기시간을 최소화하는 모형으로 단일 차고지, C개의 수요지, 수요지별 서비스 시간은 S로 일정하며, 수요지별 위치, 수요량 및 서비스를 요구하는 시간대는 알려져 있다. 차량의 용량은 다양하며 차량은 유한하며, 기타 가정사항은 고전적인 차량경로문제와 동일하다.

엄격한 시간제약 모형은 수요지내 서비스를 할 수 있는 시간제약이 존재하며, 시간제약 이전에 차량이 도착 시에는 대기 후 서비스를 실시하고, 시간제약 이후 도착 시에는 서비스가 불가하며, 본 연구에서는 기존의 유

전알고리즘의 형태에 초기해 생성방법 개선, 실행불가능해의 교정과정, 2-opt 과정 및 최종해 확인과정을 추가하여 알고리즘을 제시한다.

엄격한 시간제약 모형의 유전자 알고리즘 구성도는 다음 <그림 1>과 같으며, 구체적인 설명은 다음과 같다.



<그림 1> 엄격한 시간제약 알고리즘

2.1 유전자 표현

유전자 표현은 2개의 스트링으로 첫 번째 행은 수요지를 두 번째 행은 수요지에 방문하는 차량을 나타내며 수요지별 방문순서는 순차적으로 이루어진다. 다음 <그림 2>는 엄격한 시간제약 모형의 유전자 표현을 나타낸다.

Demand point	2	10	5	6	4	9	7	3	1	8
Vehicle	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4

<그림 2> 유전자 표현

예를 들어 1번 차량의 경우 차고지에서 출발하여 왼쪽부터 2번, 5번, 3번 수요지를 방문 후 다시 차고지로 복귀하게 된다. 1번 차량의 운행경로는 D(차고) → 2 → 10 → 5 → D(차고)와 같다.

2.2 초기 모집단

초기모집단은 발견적 방법과 임의생성 방법을 혼합 적용하였다. 발견적 방법은 차량용량을 초과하지 않는 범위 내에서 차량대기시간을 최소로 하는 기법으로, 수요지별 방문차량을 할당할 때 첫 번째 수요지는 모든 수요지 중에서 차량 대기시간이 가장 작은 수요지를 선택하여 방문하게 하고, 이후 차량경로는 수요지별 시간 제약을 지키면서 차량의 적재용량을 초과하지 않는 수요지를 임의대로 선택하여 경로를 형성하였다.

초기해 생성시 차량용량 제약은 차량용량의 100% 적용하지 않고, 80%~90% 수준을 고려(Kang and Lee, 2001) 하여 차량의 운행거리를 단축하였다. 이는 차량경로 형성 시 각 차량은 차량의 용량이 허용하는 범위 내에서 최대한 수요 지점을 경로에 포함시키기 때문에 수요지가 많은 경우 마지막 차량은 아직 방문하지 않은 소수의 수요지를 방문하게 되므로 차량의 적재율이 저하되고 이동거리가 증가하게 되므로, 주어진 차량수의 범위 내에서 차량별 적재율을 적절히 분배함으로써 최종적으로 소수의 수요지가 남는 것을 방지하여 목적해의 개선을 유도하였다.

2.3 실행 불가능해 교정 과정

시간제약 차량경로문제는 기본적인 차량경로 문제와 달리 유전자 알고리즘 과정에서 유전연산(교차, 돌연변이)을 거치면서 많은 실행 불가능해가 만들어지므로 교정해 줄 필요가 있다. 교정과정은 차량경로의 재형성 과정으로 첫 번째 차량이 방문한 수요지를 기준으로 시간 및 용량제약을 만족하는 수요지를 순서대로 방문하여 조건을 만족하면 차량의 경로에 포함시키고, 제약을 만족시키지 못하면 다른 수요지로 바꾸어 줌으로써 수요지 시간제약과 차량의 용량 제약을 만족하면서 차량의 적재율을 증가시켜 실행불가능해를 실행가능해로 바꾸어주는 과정이다.

2.4 적합도 평가

적합도 평가는 목적함수를 만족시키는 정도로 모든 수요지점의 시간제약과 수요량을 만족시키면서 운행되는 모든 차량의 총 운행거리의 합을 최소화 시키는 해가 우수한 해로 평가되며 거리의 역수로 다음 식 (1)과 같다.

$$fit(x) = \frac{1}{\sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^C \sum_{t=1}^T d_{ijt} x_{ijt}} \dots\dots\dots (1)$$

d_{ijt} : 수요지 i 에서 j 로 차량 t 의 이동거리
 $x_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{수요지 } i \text{에서 } j \text{로 차량 } t \text{ 이동시} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$
 C : 수요지 개수 T : 차량 대수

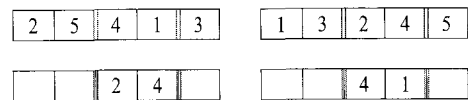
2.5 선별

선별은 무조건적인 적자생존에 의한 지역해로의 수렴을 막으면서 세대별 우수한 해의 생존확률 보장 및 지역해로의 수렴방지를 위하여 적합도가 작은 해의 생존확률을 확률적으로 보장해주는 룰렛휠 방법(Kim et al., 2000) 및 세대별 우수한 해는 반드시 생존할 수 있도록 하는 엘리트 보존전략을 각각 적용하였다.

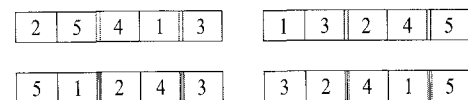
2.6 교차

교차는 유전자 알고리즘의 대표 연산자로 두 부모가 갖는 유전자를 조합하여 자손을 생성하는 과정으로 좋은 해를 이용하는 역할을 한다. 이를 위하여 개체의 스트링별 교차방법을 달리 적용하였다. 차량의 방문 우선순위는 차량 경로를 구성함에 있어서 우선순위가 중복되면 차량의 경로가 형성되지 않으므로 순서 교차(Kim et al., 2000)를, 수요지별 방문차량은 2점교차를 실시하였다. 순서교차는 다음과 같은 단계로 이루어진다.

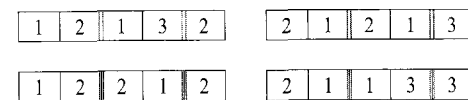
- 단계 1 : 개체별 교차대상자 선정
- 단계 2 : 교차 대상자별로 짝 형성
- 단계 3 : 2개의 절단점 무작위 선정,
절단점내 유전인자 상대방에 상속



- 단계 4 : 두 번째 절단점 이후부터 부모의 유전인자를 차례대로 나열, 상속된 유전인자 제거, 상속되지 않은 유전인자를 두 번째 절단점 이후부터 순서대로 채워 넣는다.



방문차량에 대한 2점 교차는 다음과 같다. 절단점 중간부분은 상대방 개체로부터 상속받고 나머지는 자신의 부모로부터 유전인자를 상속받는다.



2.7 변동 돌연변이

돌연변이는 개체에 새로운 유전자가 생성되는 것으로, 한 개체에서 아주 작은 수의 유전자를 임의로 변화시키는 과정으로 차량도착 우선순위는 교환에 의한 돌연변이를, 방문차량은 점 돌연변이를 적용하였다. 또한, 지역해로부터 탈출을 위한 변동 돌연변이율을 적용하였으며, 변동 돌연변이 적용 후 해의 개선이 이루어지면 초기 돌연변이율로 환원시켰다.

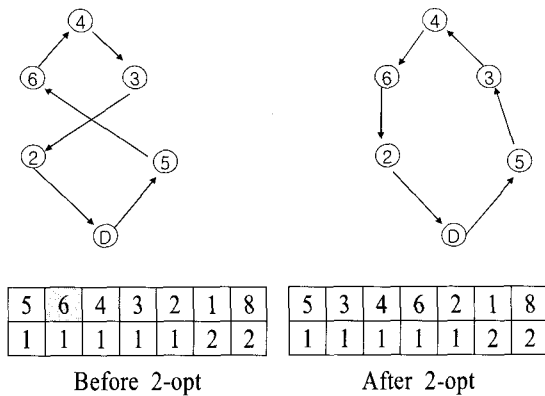
2.8 2-opt 과정

실행가능해의 개선을 유도하는 과정으로, 이 과정은 차량내 경로조정과 차량간 경로조정으로 크게 2단계로 구분된다.

차량내 경로 조정은 차량별로 수요지를 교환하여 적합도 개선 여부를 확인하는 과정이며, 차량간 경로 교환은 차량간 수요지를 교환하여 적합도 개선 여부를 확인하는 과정이다. 단계별 세부절차는 다음과 같다.

- 단계 1 : 대상 유전인자를 상호 교환한다.
- 단계 2 : 적합도를 계산한다.
적합도가 향상되면 유전인자를 교환한다.
적합도가 향상되지 않으면 유전인자를 교환하지 않는다.
- 단계 3 : 순서대로 단계 2를 반복한다.

2-opt 과정에 의한 경로개선은 다음 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 2-opt 과정

2.9 최종해 확인과정

최종해 확인과정은 lag 교환 규칙(Sule, 1996)을 이용하여 해의 개선여부를 확인하는 과정으로 단계별 세부절차는 다음과 같다.

단계 1 : 수요지간의 간격을 lag로 정의하고 가장 큰 lag를 결정한다.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

lag = 수요지 개수-1= 9
lag 교환 규칙 수행 전 적합도 : 0.5(가정)

단계 2 : lag간 유전인자를 교환 후 적합도를 계산한다.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	2	3	4	5	6	7	8	9	1

첫 번째 유전인자 “1”과 마지막 유전인자 “10”을 교환하고 유전인자의 적합도를 계산한다. lag 교환 규칙 1회 수행 후 적합도를 계산한다. 적합도를 0.4로 가정 한다.

단계 3 : 적합도 개선 시 단계 1로 이동한다. 단계 2 결과 적합도가 개선되지 않았으므로 단계 2에서 교체된 유전인자를 교체전 인자로 환원한다.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

lag를 하나씩(1) 감소시킨다. lag를 만족하는 교체 가능한 경우를 확인한다.

- case 1(전) :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----
- case 2(후) :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----
- case 1(후) :

9	2	3	4	5	6	7	8	1	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----
- case 2(후) :

1	10	3	4	5	6	7	8	9	2
---	----	---	---	---	---	---	---	---	---

case 1은 적합도 계산결과가 0.4(가정)일 때 적합도는 개선되지 않고. case 2는 적합도 계산 결과가 0.7(가정)일 때 적합도가 개선된다.

단계 4 : 적합도가 미개선시, lag 하나씩(1) 감소 시킨 후 단계 2로 이동한다.

단계 5 : lag가 1이 될 때까지 단계를 반복한다.

Lag 교환 규칙 개념은 간단하나, 수요지의 개수에 따라 알고리즘 반복회수가 증가되므로 유전자 알고리즘에서 모든 세대를 대상으로 실행하기에는 시간상의 제약이 따른다. 유전자 알고리즘 자체적으로 세대수가 증가되면서 이러한 반복 효과를 보이므로 세대수를 많이 거친 개체에 대하여 적용 시 효과가 감소되며, 적합도의 상승이 실험결과 거의 없었다. 따라서 유전연산을 마친 엘리트 개체 1개에 대하여 이러한 과정을 반복하는 것은 많은 연산시간을 필요치 않으므로 효과가 있으며,

초기해 개선과정에서도 이러한 연산을 통하여 해의 개선을 유도할 수 있으나, 개체수(popsize)가 많은 경우에는 연산시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

2.10 유전 파라미터

본 연구에서 사용한 유전 파라미터는 기존 연구에서 제시된 모집단의 수, 종료 세대수, 교배율, 돌연변이율과 초기해 생성방법에서 임의생성 기법과 휴리스틱에 의한 생성기법 비율, 해의 개선이 일정기간동안 진행되지 않을 때 사용하는 변동 돌연변이율의 상승률과 해의 개선이 진행되지 않는 세대수, 최대 허용 돌연변이율 등 문제에 따라 최적의 파라미터 값을 찾아내는 것은 거의 불가능하므로, 여러 파라미터를 적용한 반복 실험을 통해 알고리즘과 문제의 특성에 맞는 파라미터를 적용하였다. 본 연구에서 적용한 파라미터는 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 유전 파라미터

Parameters	Value	Ranges
Number of population	200	10~500
Initial solution generation rate	0.3	0.1~0.8
Crossover(Pc)	0.85	0.5~1.0
Mutation(Pm)	0.02	0.001~0.05
Max. mutation rate	0.2	0.1~0.5
Number of generation	10000	500~20000

3. 예제적용 및 결과분석

3.1 기존 예제 적용

지금까지 대부분의 차량경로문제는 서비스를 받는 수요지에 중점을 두고 모든 제약조건을 적용하였다.

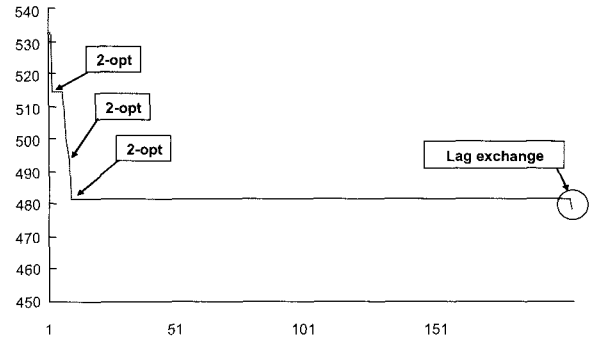
<표 2> 결과 비교

	# of Pop.	Convergence (Gen.)	Terminate condition (Gen.)	Distance
Jung and M in (2000)	20	900	10,000	478.201
Suggested algorithm	50	6	200	481.523

유전자 알고리즘의 수렴성과 휴리스틱 기법의 효과를 확인하기 위하여 적용된 예제(Jung and Min, 2000)는 12개의 수요지점과 적재용량이 6,000으로 동일한 차량 4대로 구성하였으며, 수요지별 거리와 수요량은 알고 있

다. 기존 예제에 본 연구에서 제시한 엄격한 시간제약 알고리즘을 적용한 결과는 <표 2>와 같다.

다음 <그림 4>는 최적 근사해 수렴결과를 나타낸 것이다.



<그림 4> 근사해 수렴결과

기존 연구 결과와 비교 시 초기해 개선 방법에 의해서 초기모집단의 해가 향상되었으며, 2-opt 알고리즘에 의하여 세대 초기에 해의 개선이 가속되며, 기존에 연구된 알고리즘이 900세대에서 최적 근사해(478.201)를 찾은 반면 제시된 알고리즘은 6세대에서 최적 근사해에 미치지 못하나 그와 유사한 값(481.523)을 탐색함으로써 해공간의 탐색 능력도 우수함을 알 수 있다. 특히 유전자 알고리즘 종료 시 최종해 확인과정을 통하여 다시 한번 해가 개선되었음을 알 수 있었다

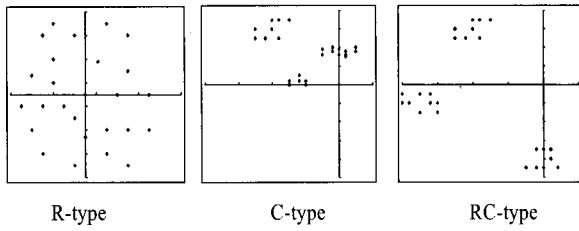
3.2 Solomon의 실험예제 적용

Solomon의 실험예제(<http://neo.lcc.uma.es>)는 차고지를 중심으로 수요지의 분포 형태에 따라서 차고지 주위에 균일하게 분포되어 있는 R-type, 일정한 지역별로 어느 정도 밀집되어 있는 C-type과 위의 2가지 유형이 복합된 RC-type으로 구분된다. 차량경로문제 유형별 특징은 다음 <표 3>과 같다.

<표 3> Solomon 문제 유형별 특징

Type	Characteristics	No.
R-type (23)	uniformly distributed customers	R101~R112 R201~R211
C-type (17)	clustered customers	C101~C109 C201~C208
RC-type (16)	a mix of R and C types	RC101~RC108 RC201~RC208

Solomon 문제의 유형별 수요지 분포는 다음 <그림 5>와 같다.



<그림 5> Solomon 문제의 유형별 수요지 분포

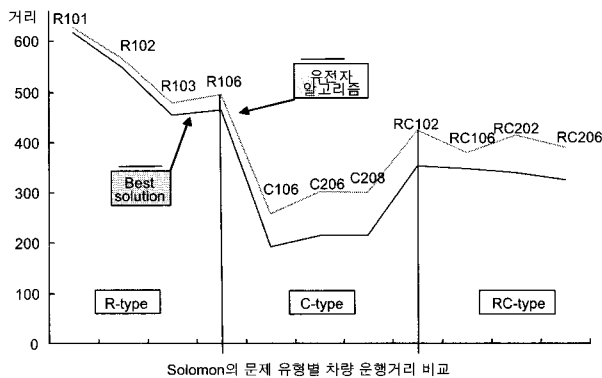
실험 예제는 Solomon의 대표적인 실험 예제 중 수요지가 25개인 문제에 적용하였다. 실험예제는 차량의 적재용량은 200인 동일 차량 25대를 이용하여 고객이 요구하는 시간대에 요구하는 수요량을 만족시키는 문제이다.

Solomon의 실험예제는 수요지 분포의 형태, 수요지점의 개수, 시간제약에 따라 여러형태로 분류하는데, 본 연구에서는 일부 실험예제에 대하여 제한적 실험을 실시하였다. 실험결과는 다음 <표 4>과 같다.

<표 4> Solomon 예제 실험결과

구분	Best solution		suggested algorithm		Distance/ # of vehicle
	# of vehicle	Distance	# of vehicle	Distance	
R101	8	617.1	8	627.23	+10.13/same
R102	7	547.1	7	566.36	+19.26/same
R103	5	454.6	3	579.35	+124.75/-2
R106	5	465.4	4	594.11	+128.71/-1
C106	3	191.3	5	256.35	+65.05/+2
C206	2	214.7	4	283.20	+68.5/+2
C208	2	214.5	3	299.38	+84.88/+1
RC102	3	351.8	4	423.50	+71.1/+1
RC106	3	345.5	4	379.25	+33.75/+1
RC202	3	338.0	5	413.71	+75.71/+2
RC206	3	324.0	4	388.32	+64.32/+1

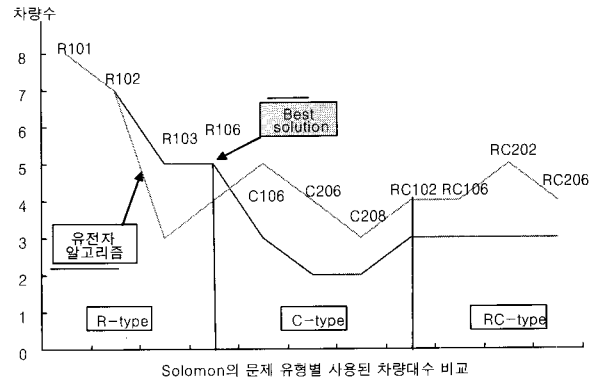
문제 유형별 운행거리 비교는 다음 <그림 6>과 같다.



<그림 6> 유형별 운행거리 비교

운행거리 비교 시 본 연구에서 제시한 알고리즘이 현재까지 학계에 발표된 가장 좋은 해와 비교 시 C-Type 및 RC-Type에 있어 비록 차이는 있으나, R-type 일부에 있어서 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

문제 유형별 차량대수 비교는 다음 <그림 7>과 같다.



<그림 7> 유형별 차량대수 비교

Solomon의 실험예제 분석결과 비록 차량의 운행거리는 증가되었으나, <그림 4>, <그림 7>에서와 같이 R103, R106 문제에 적용시 사용된 차량의 대수가 감소된 것을 알 수 있다.

앞서 분석한 예제들은 차량의 용량이 동일한 경우이므로, 본 연구에서는 차량의 용량을 다양하게 구성하여 비교적 좋은 결과를 얻은 R-type 문제에 적용하였다. 다음 <표 5>는 시간제약 다용량 차량경로문제에 적용한 수요지 및 차량정보이다.

<표 5> 수요지 및 차량정보

	Example 1	Example 2
# of demand point	50	100
Capacity/ # of vehicle	100 / 3 200 / 3 300 / 3 400 / 3	150 / 6 200 / 6 250 / 6 300 / 6

시간제약 다용량 차량경로문제의 확대 실험결과는 다음 <표 6>와 같다.

<표 6> 확대 실험결과(차량대수 및 총거리)

	Example 1	Example 2
Capacity/ # of vehicle (used)	100 / 3 200 / 3 300 / 3 400 / 3	150 / 6 200 / 6 250 / 6 300 / 2
Distance	1908.08	4181.49

3.3 결과분석

기존예제(Jung and Min, 2000)에 본 연구에서 제시한 알고리즘을 적용한 결과, 세대 초기에 local search 방법인 2-opt 과정에 의하여 해의 개선이 가속되어 수렴속도가 매우 빨랐으며, 최종해 확인과정인 lag 교환규칙을 통하여 다시 한번 해의 개선이 이루어졌음을 알 수 있었다.

Solomon의 실험예제에서는 R-type, C-type, RC-type 문제 유형에 대하여 제한적 실험을 하였으나, C-Type 및 RC-Type에 있어 비록 차이는 있으나 R-type 일부에 있어서 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. R-type 문제에 적용한 결과 차량의 운행거리는 다소 증가하였으나, 본 연구에서 제시한 해의 개선과정에서 수요지 시간제약과 차량의 용량 제약을 만족하면서 차량의 적재율을 증가시켜 차량의 대수가 감소되어 차량을 효율적으로 운영한 것을 알 수 있었다. 특히 R103과 R106에서는 운행한 차량의 대수가 1~2대 감소되어 효율적으로 운행되었음을 알 수 있었다.

다음 <표 7>은 Solomon 예제 R103과 R106에 대한 차량대수 및 평균 적재율을 비교한 것이다.

<표 7> 차량대수 및 평균 적재율 비교

Type	Best solution		Suggested algorithm		Percent Increased
	# of veh.	Avg. loading rate	# of veh.	Avg. loading rate	
R103	5	33.2	3	55.3	22.1%
R106	5	33.2	4	41.5	8.3%

다음 <표 8>은 다용량 차량경로문제 예제에 대한 차량별 적재율을 비교한 것이다.

Solomon 예제와 본 연구의 적재율 비교 결과, 이용된 차량의 대수가 감소되어 적재율이 향상된 것을 알 수 있었으며, 다용량 차량경로문제에 적용한 결과 평균 적재율이 79.68% 이상으로 차량이 효율적으로 이용된 것을 알 수 있었다.

4. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 시간제약 차량경로문제에 대하여 유전자 알고리즘을 이용하여 엄격한 시간제약모형을 제시하였다. 시간대 제약이 엄격한 모형은 차량의 운행거리를 최소화하는 모형으로 사용되는 차량의 수를 최소화하고 적재율을 증가시켜 차량의 이용 효율을 극대화하는 모

<표 8> 다용량 차량경로문제 차량별 적재량

	Example 1 (load/capacity)	Example 2 (load/capacity)
Veh. 1	88 / 100	74 / 150
Veh. 2	67 / 100	105 / 150
Veh. 3	87 / 100	111 / 150
Veh. 4	154 / 200	117 / 150
Veh. 5	145 / 200	133 / 150
Veh. 6	167 / 200	135 / 150
Veh. 7	178 / 300	138 / 200
Veh. 8	162 / 300	150 / 200
Veh. 9	274 / 300	160 / 200
Veh.10	331 / 400	163 / 200
Veh.11	334 / 400	183 / 200
Veh.12	309 / 400	193 / 200
Veh.13	-	200 / 250
Veh.14	-	208 / 250
Veh.15	-	213 / 250
Veh.16	-	221 / 250
Veh.17	-	225 / 250
Veh.18	-	228 / 250
Veh.19	-	232 / 300
Veh.20	-	263 / 300

형이다.

Solomon의 R-type 문제에 적용한 결과 거리는 다소 증가되었으나 차량의 적재율을 향상시켜 사용되는 차량의 대수가 감소되었음을 확인하였다.

향후 연구방향으로 시간제약 차량경로문제에서 효율적인 해의 탐색을 위하여 유전자 알고리즘에 clustering 또는 set-covering 등의 기법을 추가한다면 해 공간 탐색 능력과 수렴성이 더 우수한 알고리즘이 될 것으로 판단되며, 차량의 적재공간을 최적화하여 차량의 대수를 감소시킬 수 있는 방법과 차량의 운행비용 측면에서 고정비용과 변동비용을 고려하는 방법의 연구는 향후 의미가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Berger, J., Salois, M., and Begin, R.; "A Hybrid Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Lecture Notes in Artificial Intelligence, AI'98, Advances in Artificial Intelligence* : 114-127, 1998.
- [2] Blanton, J. L. and Wainwright, R. L.; "Multiple Vehicle Routing with Time and Capacity Constraints using Genetic Algorithms," *Proc. 5th Int. Con. on Genetic*

- Algorithms* : 452-459, 1993.
- [3] Bräysy, O. and Gendreau, M., Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, *SINTEF REPORT*, SINTEF Applied Mathematics, Research Council of Norway, 2001.
- [4] Danzig, G. B. and Ramser, J. H.; "The Truck Dispatching Problem," *Management Science*, 6 : 80-91, 1959.
- [5] Gehring, H. and Homberger, J.; "Parallelization of a Two-Phase Metaheuristic for Routing Problems with Time Windows," *Asia-Pacific Journal of Operational Research* : 57-64, 2001.
- [6] Jung, Y. M. and Min, K. R.; "A Vehicle Routing Problem using Heuristic," *Journal of Military Operations Research Society of Korea*, 26(1) : 47-55, 2000.
- [7] Kang, K. H. and Lee, Y. H.; "Heuristic for Vehicle Routing Problem to Minimize total delivery waiting time," *Con. on KIIE and KORMS* : 687-690, 2001.
- [8] Kim, Y. K., Yoon, B. S., and Lee, S. B.; *Meta Heuristic*, Yeongji Moonhwasa, Seoul, Korea, 2000.
- [9] Or, I.; *Traveling Salesman-Type Combinational Problems and their Relation to the Logistics if Regional Blood Banking*, Ph.D. Dissertation, Northwestern University, 1976.
- [10] Osman, I. H.; "Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem," *Annals of Operation Research*, 41 : 421-451, 1993.
- [11] Potvin, J. Y. and Rousseau, J. M.; "An Exchange Heuristic for Routing Problems with Time Windows," *Journal of the Operational Research Society*, 46 : 1433-1446, 1995.
- [12] Potvin, J. Y.; "The Vehicle Routing Problem with Time Window Part II Genetic Search," *Inform Journal of Computing*, 8 : 165-172, 1996.
- [13] Solomon, M. M.; "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints," *Operations Research*, 35 : 254-265, 1987.
- [14] Sule, D. R., *Industrial Scheduling*, Louisiana Tech. University, 1996.
- [15] Tan, K. C., Lee, L. H., and Ou, K.; "Hybrid Genetic Algorithms in Solving Vehicle Routing Problems with Time Window Constraints," *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 18 : 121-130, 2001.
- [16] Thangiah, S.; "Vehicle Routing with Time Windows Using Genetic Algorithms," *In Application Handbook of Genetic Algorithms : New Frontiers*, 2 : 253-277, 1995.
- [17] <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>.