

외주차량을 고려한 시간제약이 있는 차량경로문제에 대한 연구

성 준 · 문일경[†]

부산대학교 산업공학과

Vehicle Routing Problem with Time Windows considering Outsourcing Vehicles

June Seong · Il-Kyeong Moon

Department of Industrial Engineering, Pusan National University, Busan, 609-735

The vehicle routing problem with time windows (VRPTW) is an important problem in third party logistics and supply chain management. We extend the VRPTW to the VRPTW with overtime and outsourcing vehicles (VRPTWOV) which allows the overtime of drivers and the possibility of using outsourcing vehicles. This problem can be applied to third party logistics companies for managing central distributor-local distributors, local distributor-retailers (or customers), and a manufacturer. We develop a mixed integer programming model and a genetic algorithm. Computational results demonstrate the efficiency of the developed genetic algorithm. We also develop a decision support system based on this genetic algorithm.

Keywords: vehicle routing problem, outsourcing vehicle, genetic algorithm

1. 서 론

최근 기업 환경이 supply chain상에서 대부분 이루어짐에 따라 다양한 제품의 공급지와 수요지를 보유하게 되고 복잡해지는 도로상황과 차량의 증가 등으로 인하여 수요지에서 원하는 시간대에 제품을 배송하는 것이 어려워지고 있다. 그래서 기업은 고객의 서비스시간대를 지키기 위해 많은 노력과 비용을 투자하는 동시에 물류비용을 줄이기 위한 노력들을 하고 있다. 이런 물류비용을 줄이기 위해서는 최적의 배송정책을 수립하는 것이 매우 중요하다. 최적의 배송정책이란 차량의 수, 운행시간을 최소화하면서 고객이 원하는 시간대에 제품을 배송하는 것을 말한다. 그러나 차량의 수와 고객이 원하는 시간대에 배송하는 것은 서로 trade-off이 발생하여 두 가지 목적을 만족하는 최적의 배송정책을 결정하는 것은 매우 중요하면서도 어려운 문제이다.

차량경로문제(Vehicle Routing Problem ; VRP)는 물류/택배업체의 공급사슬에서 고려해야 될 매우 중요한 문제이다(Hong

and Park, 1999). 특히 고객의 요구 서비스 시간대를 고려한 차량경로문제(Vehicle Routing Problem with Time Windows ; VRPTW)는 고객만족 향상에 있어서 매우 중요한 문제로 많은 연구가 이루어졌다(Liu and Shen, 1999). 그 이유는 실제 물류 및 배송문제와 관련되어 고객만족의 중요성이 강조되고 있기 때문이다.

일반적으로 VRPTW의 목적은 depot로부터 지리적으로 산재해있는 고객에게 요구하는 시간대에 차량을 이용해 운송되는 총 거리를 최소화 또는 총 운송비용을 최소화하는 것이다. 동시에 다양한 제약조건들을 만족하여야 한다(Solomon, 1987). VRPTW는 조합최적화 문제로 NP-hard 문제이기 때문에 작은 크기의 문제에 대해서는 최적해를 찾을 수 있지만 문제를 풀기 위한 계산시간이 매우 크다(Lenstra and Kan, 1981). 그래서 합리적인 시간 안에 근사 최적해를 찾기 위한 다양한 휴리스틱 또는 메타휴리스틱 방법들이 Badeau *et al.*(1984), Homberger and Gehring(2005), Lenstra and Kan(1981)등에 의해 연구되어 왔다. 본 논문에서는 물류/택배업체가 소유하고 있는 차량과

본 연구는 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업(차세대물류IT기술연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음.

[†] 연락처자 : 문일경 교수, 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지 부산대학교 산업공학과, Fax : 051-512-7603,

E-mail : ikmoon@pusan.ac.kr

2005년 12월 접수; 2006년 2월 수정본 접수; 2006년 2월 게재 확정.

외부에서 차량을 임대하여 사용하는 외주차량을 고려하고 동시에 정규운행시간과 잔업운행시간을 고려한 시간계약이 있는 차량경로문제를 다룬다. 여기에는 차량용량, 차량운행시간 그리고 고객지점에서의 서비스시간대에 대한 제약조건 등을 포함한다.

제 2장에서는 개발된 혼합정수계획모형을 소개한다. 제 3장에서는 시간 효율적인 해의 탐색을 위한 유전자알고리즘을 제시한다. 제 4장은 혼합정수계획모형과 유전자 알고리즘을 예제를 통해 검증하고 제 5장에서는 개발된 유전자 알고리즘이 적용된 의사결정지원시스템을 소개한다. 제 6장에서는 본 연구의 결론을 제시한다.

2. 혼합정수계획모형

본 연구에서 사용되는 가정 및 기호는 다음과 같다.

- CT_k : k 차량의 단위시간당 순수운송비(\$/분)
 CR_k : k 차량의 단위시간당 정규인건비(\$/분)
 CO_k : k 차량의 단위시간당 잔업인건비(\$/분)
 CF_k : k 차량의 고정(or 외주)비 (\$/대)
 t_{ij} : i 지점에서 j 지점에서의 운행시간(분)
 T_{0k} : k 차량이 depot에 도착하는 시간(분)
 TR_k : k 차량의 정규운행시간(분)
 TO_k : k 차량의 잔업운행시간(분)
 NO_k : k 차량의 음의 잔업운행시간(분)
 T_i : i 지점 도착시간(분)
 s_i : i 지점의 서비스시간(분)
 w_i : i 지점의 대기시간(분)
 e_i : i 지점의 earliest 시간(분)
 l_i : i 지점의 latest 시간(분)
 r_k : k 차량의 가용시간(분)
 m_i : i 지점의 수요량(개)
 q_k : k 차량의 capacity(개)
 M : Big M
 x_{ijk} : k 차량이 i 지점에서 j 지점으로 이동유무
 Y_k : k 차량의 사용유무
 $i = 0, 1, \dots, N; j = 0, 1, \dots, N$
 $k = 1, 2, \dots, K; i, j$ 가 0인 경우는 depot

외주차량 및 잔업시간을 고려한 시간계약이 있는 차량경로 문제를 혼합정수계획모형으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Minimize } & \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^K CT_k t_{ij} x_{ijk} + \sum_{k=1}^K CR_k (T_{0k} - TO_k) \\
 & + \sum_{k=1}^K CO_k TO_k + \sum_{k=1}^K CF_k Y_k
 \end{aligned} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} \leq 1 \quad \forall k \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ijk} = \sum_{j=0}^n x_{jik} \quad \forall i, k (i \neq j) \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0, i \neq j}^n x_{ijk} = 1 \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n m_i \sum_{j=0, i \neq j}^n x_{ijk} \leq q_k \quad \forall k \quad (5)$$

$$T_j \geq T_i + s_i + w_i + t_{ij} + M \left(\sum_{k=1}^K x_{ijk} - 1 \right) \quad \forall i, j (i \neq j) \quad (6)$$

$$r_k \geq T_{0k} \geq T_i + s_i + w_i + t_{i0} + M(x_{i0k} - 1) \quad \forall i, k \quad (7)$$

$$e_i \leq T_i + w_i \leq l_i \quad \forall i \quad (8)$$

$$T_0 = s_0 = w_0 = 0 \quad (9)$$

$$TO_k - NO_k = T_{0k} - TR_k \quad \forall k \quad (10)$$

$$Y_k = \sum_{j=1}^n x_{0jk} \quad \forall k \quad (11)$$

$$x_{ijk}, Y_k \in 0, 1 \quad (12)$$

식 (1)은 목적식으로 차량운행비용, 정규시간인건비용, 잔업 시간인건비용, 차량고정비용의 합을 최소화하는 것이다. 식 (2)~식 (11)은 제약식으로 식 (2)는 모든 차량은 depot에서 한 번만 출발 가능하다는 것을 의미한다. 식 (3)은 각 차량은 연속된 경로로 운행하는 제약을 의미하고 식 (4)는 한 지점에는 한 대의 차량만 서비스가 가능하다는 제약이다. 식 (5)는 각 경로의 수요량의 합은 차량의 capacity를 넘지 못한 것을 의미하고 식 (6)은 한 지점에 차량의 도착시간은 이전 지점 도착시간, 대기시간, 서비스시간, 이동시간의 합보다 커야 된다는 제약이다. 식 (7)은 모든 차량의 depot로 돌아오는 시간은 차량의 가용 시간보다 작고 바로 전 지점에서의 도착시간, 대기시간, 서비스시간, 이동시간의 합보다 커야 된다는 의미이다. 식 (8)은 각 지점의 도착시간과 대기시간의 합은 earliest 시간 보다 크고 latest 시간 보다 작다는 제약이다. 식 (9)는 depot에서의 도착시간, 서비스시간, 대기시간은 모두 0이라는 의미이고, 식 (10)은 각 차량의 잔업시간은 depot에 도착한 시간에서 정규운행시간을 뺀 시간을 의미한다. 이 식에서 NO_k 는 음의 잔업운행시간으로 잔업운행시간이 발생하면 TO_k 의 값을 가지게 하고 발생하지 않으면 0으로 만들어주는 역할을 한다. 식 (11)은 depot에서 차량이 출발하면 차량고정비를 위해 Y_k 의 값을 1로 출발하지 않으면 0으로 만들어주는 제약식이다. 식 (12)는 0, 1 정수 조건이다.

3. 유전자 알고리즘

본 연구에서 다루는 차량경로문제는 조합 최적화문제로 NP-hard문제임이 이미 밝혀져 있다(Lenstra and Kan, 1999). 따라서 고객의 수가 커질수록 최적해를 찾는 계산시간이 기하급

수적으로 늘어나는 특징을 가지고 있어 본 연구에서 개발한 혼합정수계획모형으로는 고객의 수가 큰 실제 문제를 해결하는데 많은 제약이 따른다. 그러므로 본 장에서는 시간 효율적인 해의 탐색을 위해 유전자 알고리즘을 제안한다.

유전자 알고리즘은 하나의 해에서 탐색을 시작하는 것이 아니라, 해의 집단(population)에서부터 탐색을 시작한다. 해의 집단에서 하나의 해는 염색체(chromosome)라고 하고, 각 염색체는 유전인자(gene)로 이루어져 있다. 각 염색체들은 세대수(generations)라고 불리는 연속적인 반복을 통해서 진화한다. 각 세대마다 유전 연산자 즉, 재생산(reproduction), 교차(crossover)와 돌연변이(mutation)를 통해서 환경에 적응해가면, 적합도 함수(fitness function)에 따라 각 염색체는 평가되어 진다.

3.1 해의 표현과 초기화

본 연구에서 염색체는 두 가지로 나누어진다. 첫 번째 염색체는 고객방문 염색체로 차량이 고객을 방문하는 순서이고 두 번째는 차량할당 염색체로 각 차량을 고객의 그룹에 할당하는 염색체이다. 고객방문 염색체의 길이는 고객 수가 되고, 염색체내의 각각의 유전인자는 방문 순서가 된다. 차량할당 염색체는 '(각 차량 유전인자/모든 차량 유전인자의 합) × 총 고객 수'로 랜덤하게 발생된 유전인자의 크기에 따라 고객의 수를 할당한다.

<Table 1>은 고객 수가 7개일 때 차량의 고객방문 염색체의 예로 방문 순서는 7-5-6-2-4-3-1이 되고, <Table 2>는 차량할당 염색체의 예로 1번 차량에 1개, 2번 차량에 3개, 3번 차량에 3개의 고객을 할당한다.

Table 1. An example of sequence chromosome for customers

Gene	7	4	6	5	2	3	1
고객	1	2	3	4	5	6	7

Table 2. An example of assignment chromosome for vehicles

Gene	0.1876	0.8943	0.9577
차량번호	1	2	3

3.2 적합도 함수와 유전 연산자

적합도 함수는 제 2장에서 개발된 혼합정수계획모형의 목적함수로 차량운행비용, 정규시간인건비용, 잔업시간인건비용, 차량고정비용의 합을 사용하였다.

$$eval(A) = Minimize Z$$

재생산은 각 염색체들이 적합도 함수 값에 따라 다음 세대에 새로운 모집단을 구성하는 과정으로 본 연구에서는 rank-

based mechanism 방법을 사용하였다. 이 방법은 다른 재생산 방법과는 달리 좋은 개체가 빠르게 진화를 주도해 나가는 것을 막아주어 좀 더 완전한 선택 확률 곡선을 제공한다. 교차는 고객방문 염색체의 경우에는 PMX(Partially Matched Crossover)를 사용하였고 차량할당 염색체는 1점 교차방법을 사용하였다. 돌연변이는 새로운 난수를 발생시켜 선택된 인자를 교체시키는 방법을 사용하였다.

3.3 종료조건 및 parameters selection

최대 반복횟수, 즉 세대수가 1,000에 도달하거나 해의 개선이 500세대를 거치는 동안 0.01% 이상 일어나지 않으면 종료하도록 실험을 하였다. 교차율과 돌연변이율은 다양한 조합의 실험을 통해 0.5와 0.1이 가장 좋은 결과를 도출하여 이 값들을 사용하였다.

4. 수치예제

본 절에서는 먼저 고객의 수가 작은 경우에 대해 개발된 혼합정수계획모형과 유전자 알고리즘의 결과를 비교하여 개발된 혼합정수계획모형을 검증하고 고객의 수가 큰 실제 문제에 대해서는 Solomon의 Benchmark Problems(VRPTW Benchmark Problems, <http://web.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm>) 중 C2 type의 예제 중 C208의 data를 변형하여 고객의 수가 25개인 경우에 대해 유전자 알고리즘을 사용하여 실험을 하였다.

먼저 혼합정수계획모형과 유전자 알고리즘의 비교를 위한 예제는 아래와 같다.

- Depot : 1, 고객 : 7
- 차량 3대(보유차량 : 2대, 외주차량 : 1대)
- 차량 capacity : 50개(3대 동일)
- 차량 최대운행시간 : 230분
- 정규 작업시간 : 120분
- 보유차량 고정비용 : \$1/대
- 외주차량 고정비용 : \$2/대
- 정규시간 인건비 : \$1/분
- 잔업시간 인건비 : \$2/분

Table 3. Customer demands(unit) and time windows(minute) data

고객	1	2	3	4	5	6	7
수요량	10	7	13	19	26	3	5
Earliest time	73	18	76	73	20	49	36
Latest time	204	147	165	195	167	158	135
서비스시간	10	10	10	10	10	10	10

Table 4. Distance matrix of vehicle operation for each customer(minute)

	depot	1	2	3	4	5	6	7
depot	0	15	18	22	25	21	11	21
1	15	0	33	15	32	32	25	21
2	18	33	0	34	20	24	16	36
3	22	15	34	0	25	43	34	35
4	25	32	20	25	0	41	32	46
5	21	32	24	43	41	0	10	21
6	11	25	16	34	32	10	0	21
7	21	21	36	35	46	21	21	0

<Table 5>는 혼합정수계획모형과 유전자 알고리즘의 결과를 비교한 것으로 두 가지 경우가 모두 같은 값의 목적함수를 가지므로 모형의 유효성 검증을 하였다. 또한 고객의 수가 증가할수록 평균계산시간이 기하급수적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 그러므로 고객의 수가 많은 경우에는 혼합정수계획 모형으로는 feasible한 해조차도 찾기가 어려우므로 유전자 알고리즘을 적용하였다.

Table 6. Customer demands(unit) and time windows(minute)

고객	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
수요량	10	30	10	10	10	20	20	20	10	10	10	20	30	10	40	40	20	20	10	10	20	20	10	10	40
Earliest time	71	20	927	1021	15	257	833	2647	2361	2551	2458	1879	2165	1786	1976	1694	2071	1502	1597	10	2648	12	1403	15	2264
Latest time	711	660	1567	1661	655	897	1473	3287	3001	3191	3098	2519	2805	2426	2616	2334	2711	2142	2237	650	3288	652	2043	655	2904
서비스시간	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90

Table 7. Distance of vehicle operating for each customer(minute)

고객	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Depot	0	28	21	29	26	15	25	27	12	23	17	20	38	31	39	36	40	33	35	39	10	12	12	31	15	24
1	28	0	9	12	12	14	49	8	23	25	19	18	29	30	32	32	34	34	37	37	33	29	33	39	37	31
2	21	9	0	17	16	6	40	13	15	17	11	10	25	24	27	27	29	27	30	32	25	21	25	31	28	23
3	29	12	17	0	4	20	53	4	29	34	27	27	40	40	43	43	45	44	47	48	37	35	38	48	42	40
4	26	12	16	4	0	18	50	4	27	32	25	25	40	39	42	42	44	43	46	47	34	32	35	46	38	38
5	15	14	6	20	18	0	35	17	9	15	7	8	26	22	28	27	30	26	29	31	19	15	19	28	23	20
6	25	49	40	53	50	35	0	50	25	30	31	33	44	34	43	38	43	33	33	38	16	20	16	24	12	25
7	27	8	13	4	4	17	50	0	26	30	23	23	36	36	39	39	41	40	43	44	34	31	35	44	39	36
8	12	23	15	29	27	9	25	26	0	12	6	9	27	19	28	24	29	22	24	28	11	6	10	21	13	13
9	23	25	17	34	32	15	30	30	12	0	8	7	15	8	16	13	17	11	14	16	20	14	18	15	20	7
10	17	19	11	27	25	7	31	23	6	8	0	3	21	16	23	21	24	19	22	24	17	11	16	21	19	13
11	20	18	10	27	25	8	33	23	9	7	3	0	19	14	21	19	22	18	21	23	20	14	18	21	21	13
12	38	29	25	40	40	26	44	36	27	15	21	19	0	10	3	7	5	12	14	11	35	29	33	22	35	19
13	31	30	24	40	39	22	34	36	19	8	16	14	10	0	10	5	10	4	7	9	26	21	24	12	25	9
14	39	32	27	43	42	28	43	39	28	16	23	21	3	10	0	5	2	11	12	9	36	30	34	21	35	19
15	36	32	27	43	42	27	38	39	24	13	21	19	7	5	5	0	5	5	7	5	32	26	29	15	30	14
16	40	34	29	45	44	30	43	41	29	17	24	22	5	10	2	5	0	10	11	7	36	31	34	20	35	19
17	33	34	27	44	43	26	33	40	22	11	19	18	12	4	11	5	10	0	3	6	28	22	25	10	26	10
18	35	37	30	47	46	29	33	43	24	14	22	21	14	7	12	7	11	3	0	5	29	24	26	9	27	11
19	39	37	32	48	47	31	38	44	28	16	24	23	11	9	9	5	7	6	5	0	34	28	31	14	32	16
20	10	33	25	37	34	19	16	34	11	20	17	20	35	26	36	32	36	28	29	34	0	6	3	23	5	18
21	12	29	21	35	32	15	20	31	6	14	11	14	29	21	30	26	31	22	24	28	6	0	4	19	8	13
22	12	33	25	38	35	19	16	35	10	18	16	18	33	24	34	29	34	25	26	31	3	4	0	20	4	15
23	31	39	31	48	46	28	24	44	21	15	21	21	22	12	21	15	20	10	9	14	23	19	20	0	19	8
24	15	37	28	42	38	23	12	39	13	20	19	21	35	25	35	30	35	26	27	32	5	8	4	19	0	16
25	24	31	23	40	38	20	25	36	13	7	13	13	19	9	19	14	19	10	11	16	18	13	15	8	16	0

Table 5. Comparison results of mixed integer programming and genetic algorithm

고객 수	차량 용량	혼합정수계획모형			유전자 알고리즘	
		평균 계산시간*	목적 함수	비고	목적 함수	비고
5	40	6초	401	optimal	401	optimal
7	50	12분	526	optimal	526	optimal
9	70	17시간	735	optimal	735	optimal

* : 10회 실험 후 평균 값

유전자 알고리즘을 위한 예제는 아래와 같다.

- Depot : 1, 고객 : 25
- 차량 3대(보유차량 : 2대, 외주차량 : 1대)
- 차량 capacity : 700개(3대 동일)
- 차량 최대운행시간 : 3390분
- 정규 작업시간 : 2800분
- 보유차량 고정비용 : \$10/대
- 외주차량 고정비용 : \$15/대
- 정규시간 인건비 : \$1/분
- 잔업시간 인건비 : \$1.5분

위의 예제에 대한 유전자 알고리즘의 결과는 아래와 같다.

- 총 비용(\$): 5720.67
차량운행비용: 322.98, 정규시간인건비용: 5295.66
잔업시간인건비용: 67.03, 차량고정비용: 35
- 총 운행시간(분): 332.98
차량 1: 30.77, 차량 2: 172.84, 차량 3: 119.37
- 운행순서(0: depot)
차량 1: 0-20-24-22-0
차량 2: 0-1-2-5-6-23-18-19-16-14-12-15-17-0
차량 3: 0-4-3-7-13-25-9-11-10-8-21-0
- 잔업시간(분): 차량3: 44.70
- 운행경로

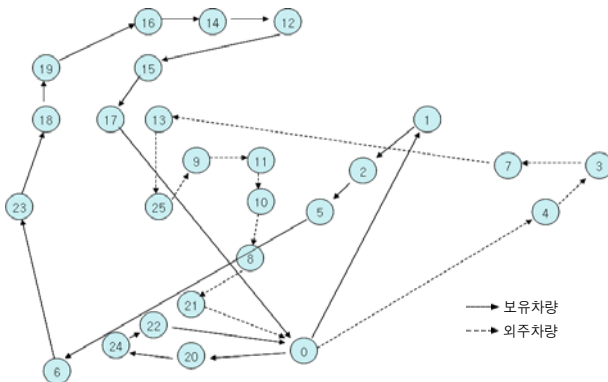


Figure 1. Graphical result of vehicle routing.

5. 의사결정지원시스템

개발된 유전자 알고리즘의 결과를 바탕으로 차량의 경로 설정과 스케줄링 최적화가 가능하도록 하는 Decision Support System을 Microsoft사의 Visual Basic 6.0과 SQL Server 2000을 이용하여 개발하였다. GUI기반의 프로그램으로 개발하여 사용자가 쉽게 활용할 수 있도록 하였으며 차량의 운송시간, 운송능력 등을 고려하여 사용자 위주의 활용이 쉽도록 개발하였다.

또한, 본 시스템은 최적운송경로를 생성해줄 뿐만 아니라, GPS기술과 RFID기술을 활용하여 실시간으로 차량 및 제품의 정보를 사용자에게 제공해 줄 수 있다. <Figure 2>는 본 시스템의 프로세스 흐름을 나타내고 있다.

차량운송계획문제에서 최적운송코스를 찾아내기 위해 필요한 여러 가지 입력요소들을 정의하여 각 요소들을 시스템 사용자가 직접 입력할 수 있게 하였으며 각 입력 요소들의 추가/삭제/수정이 용이하도록 DBgrid형태의 출력필드를 제공하였다. 각 입력 요소들은 보유차량정보, 외주차량정보, 고객정보, 배달/수거물품 정보로 나누어 각각 다른 입력 프로세스를 통해 저장되도록 하고, 최적 차량 운송계획을 결정하기 위한 알고리즘이 실행될 때 입력된 자료가 활용된다.

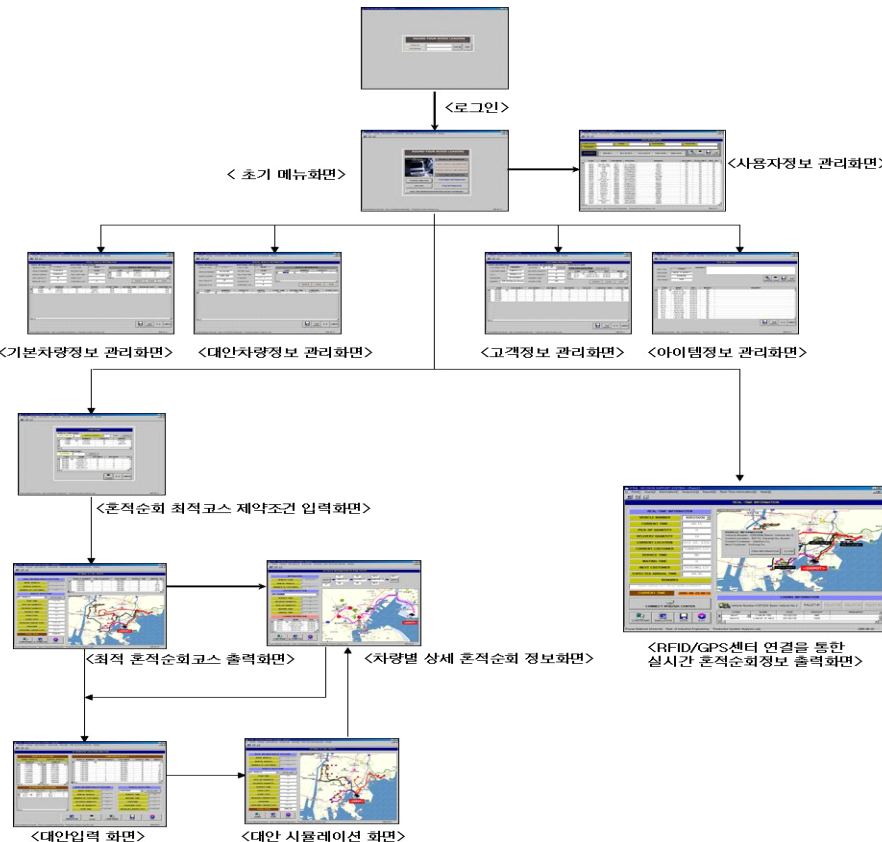


Figure 2. Process flow chart of decision support system.

보유차량에 대한 정보의 경우 차량의 번호, 관리코드, 운전자, 최대적재용량, 인건비용, 운행 시작/종료시간, 고정비용, 잔업비용 등이 고려되며, 외주차량의 경우 보유차량 정보와 달리 대여비용이 추가적으로 고려된다(Figure 3). 고객의 정보는 고객코드, 주소, 위치를 나타내는 (x, y)좌표와 이 좌표를 통해 출발지점으로 부터의 거리 및 각 고객의 거리가 산정되고 time window를 적용하기 위해 각 고객의 earliest time과 latest time를 입력요소로 고려하였다. 물품정보는 각 차량의 최대용량에 영향을 미치게 되므로 물품의 크기와 무게를 입력한다.

CODE	NUMBER	CAPACITY	DRIVER	START TIME	RETURN
ST001	ST01001	700	T.K.WANG	08:00	18:00
ST001	ST01002	700	E.C.CHAN	08:00	18:00
ST001	ST01003	700	JUNE YAM	08:00	18:00
ST001	ST01004	700	KENTO	08:00	18:00
ST001	ST01005	700	N.YAM	08:00	18:00
ST001	ST01006	700	KEAN ROY	08:00	18:00
ST001	ST01007	700	WHITEN	08:00	18:00
ST001	ST01008	700	YARR	08:00	18:00
ST001	ST01009	700	BOSTAB	08:00	18:00
ST001	ST01010	700	KOCKE	08:00	18:00
ST001	ST01011	700	CHOPRA	08:00	18:00
ST001	ST01012	700	MONTGO	08:00	18:00
ST001	ST01013	700	TUREAN	08:00	18:00
ST001	ST01014	700	MOOREAN	08:00	18:00
ST001	ST01015	700	WETHEREE	08:00	18:00
ST001	ST01016	700	GEORGE	08:00	18:00
ST001	ST01017	700	RAMANUS	08:00	18:00
ST001	ST01018	700	KELTON	08:00	18:00

Figure 3. Screen of outsourcing vehicle information.

VEHICLE NUMBER	RUN SEQUENCE	CUSTOMER	SERVICE TIME	ARRIVAL TO
K0853030	1	DEK0020	90	10
K0853030	2	DEK0024	90	105
K0853030	3	DEK0022	90	198.61
K0874345	1	DEK0001	90	27.73
K0874345	2	DEK0005	90	205.43

Figure 4. Screen of optimal vehicle routing and detailed informations.

최적운송코스를 찾아내기 위한 제약조건을 입력하면 입력 받은 제약조건에 따라 개발된 유전자 알고리즘을 이용하여 차량별 최적경로를 검색하여 출력한다(Figure 4). 화면에 출력되는 정보는 선택된 보유/외주차량의 수와 고객의 수, 선택된 차량의 총 운행시간, 배달/수거물량, 잔업비용 등이 고려된 총비용 등이 있고, 각 차량이 방문하게 되는 고객의 순서가

DBgrid를 통하여 출력된다. 그리고 사용자가 한 눈에 경로를 확인할 수 있도록 지도상에 방문하게 되는 고객의 위치와 차량별 경로가 출력된다. 사용자는 최적경로 출력화면에서 각 차량의 고객별 방문순서와 도착/출발/대기시간 및 배달/수거물량을 쉽게 파악할 수 있으며, 각 차량별 세부경로정보를 제공하여 보다 세분화된 차량경로 정보를 파악할 수 있다.

(Figure 5)는 본 시스템에서 2대의 보유차량과 1대의 외주차량을 선택하여 25개의 고객에게 방문하게 되는 최적의 수송경로 및 각 차량별 운행순서를 찾아낸 결과이다. 본 시스템에서는 time window를 고려하여 각 고객별 도착시간/출발시간/대기시간을 추가로 제공한다.

VehicleNumber	RunSequence	Customer	ServiceTime	ArrivalTime	LeaveTime	WaitingTime	DeliveryQuantity	PickupQuantity
K0853030	1	DEK0020	90	10	100	0	10	0
K0853030	2	DEK0024	90	105	195	0	10	0
K0853030	3	DEK0022	90	198.61	288.61	0	20	0
K0874345	1	DEK0001	90	27.73	161	43.27	10	0
K0874345	2	DEK0002	90	169.6	258.6	0	30	0
K0874345	3	DEK0005	90	265.43	375.43	0	10	0
K0874345	4	DEK0006	90	390.15	490.15	0	20	0
K0874345	7	DEK0019	90	594.23	2407.06	0	10	0
K0874345	8	DEK0016	90	1502.06	1784.13	0	40	0
K0874345	9	DEK0014	90	1597.06	1876.13	0	10	0
K0874345	10	DEK0012	90	1694.13	2963.13	0	20	0
K0874345	11	DEK0015	90	1786.13	2066.2	0	40	0
K0874345	12	DEK0017	90	1879.13	2161.58	0	20	0
R08E3321	1	DEK0004	90	1978.2	1111	995.99	10	0
R08E3321	2	DEK0003	90	2071.58	1204.6	0	10	0
R08E3321	3	DEK0007	90	25.61	1298.73	0	20	0
R08E3321	4	DEK0012	90	1114.6	2255	829.99	30	0
R08E3321	5	DEK0025	90	1208.73	2354	0	40	0
R08E3321	6	DEK0009	90	1335.07	2451.21	0	10	0
R08E3321	7	DEK0011	90	2264	2548.28	0	10	0
R08E3321	8	DEK0010	90	2361.21	2641.28	0	10	0
R08E3321	9	DEK0008	90	2458.28	2737.37	0	20	0
R08E3321	10	DEK0021	90	2551.28	2833.02	0	20	0
K0874345	5	DEK0023	90	2647.36	1493	698.77	10	0
K0874345	6	DEK0018	90	2743.02	1592.06	0	20	0
				0	0	0		

Figure 5. Information of run sequence for each vehicle.

VEHICLE	RUN SEQUENCE	CUSTOMER	SERVICE TIME	ARRIVAL TO
K0853030	1	DEK0020	90	10
K0853030	2	DEK0024	90	105
K0853030	3	DEK0022	90	198.61
K0874345	1	DEK0001	90	27.73
K0874345	2	DEK0005	90	205.43
K0874345	3	DEK0006	90	390.15
K0874345	4	DEK0019	90	594.23
K0874345	5	DEK0016	90	1502.06
K0874345	6	DEK0014	90	1597.06
K0874345	7	DEK0012	90	1694.13
K0874345	8	DEK0015	90	1786.13
K0874345	9	DEK0017	90	1879.13
K0874345	10	DEK0018	90	2743.02

Figure 6. Screen of analysis for alternative solutions.

현실적인 차량운송계획에서는 차량별 순서의 변경이나 추가차량의 투입이 얼마든지 고려될 수 있기 때문에 본 시스템에서는 차량 수의 변화에 따라 시뮬레이션을 수행 후 각 대안별 효율성을 최적경로와 비교하여 선택할 수 있도록 대안비교 분석 화면을 추가로 개발하였다. 각 대안별 차량운행순서와

총비용을 초기 최적해와 비교하여 보다 나은 대안을 선택할 수 있게 의사결정을 지원한다(Figure 6).

6. 결 론

본 연구에서는 시간제약이 있는 차량경로문제에 외주차량과 잔업시간을 고려한 혼합정수계획모형과 3PL(물류)업체에서 중앙물류센터-지역물류센터 또는 지역물류센터-고객에 이르는 최적 배송경로를 결정하고 제조업체에서 협력업체로부터 원자재를 공급받는 배송경로를 결정하는데 실제 적용 가능한 고객의 수가 많은 경우의 문제를 해결하는 유전자 알고리즘을 제시하였다. 또한 제시한 혼합정수계획모형과 유전자 알고리즘과의 비교 실험을 통해 모형의 유효성을 검증하였다.

유전자 알고리즘이 적용된 최적경로와 차량 및 제품정보를 고객 및 자회사에 제공하는 동시에 다양한 대안 입력을 통한 시뮬레이션으로 의사결정을 지원하는 시스템을 개발하였다.

참고문헌

- Badeau, P., Guertin, F., Gendreau, M., Potvin, J., and Taillard, E. (1997), A Parallel Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, **5**, 109-122.
- Homberger, J. and Gehring, H. (2005), A Two-phase Hybrid Meta-heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, *European Journal of Operational Research*, **162**, 220-238.
- Hong, S. and Park, Y. (1999), A Heuristic for Bi-objective Vehicle Routing with Time Window Constraints, *International Journal of Production Economics*, **62**, 249-258.
- Lenstra, J. and Kan R. (1981), Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems, *Networks*, **11**, 221-227.
- Liu, F. and Shen, S. (1999), An Overview of a Heuristic for Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Computers & Industrial Engineering*, **37**, 331-334.
- Solomon, M. (1987), Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints, *Operations Research*, **35**, 254-265.
- VRPTW Benchmark Problems [Online]. Available : "http://web.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm"