

## 영업사원 관제시스템의 효율적인 경로 스케줄링

김 승<sup>1</sup> · 민영빈<sup>2</sup> · 이우기<sup>3</sup> · 배혜림<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 산업공학과 / <sup>2</sup>서울대학교 산업공학과 / <sup>3</sup>인하대학교 산업공학과

### Efficient Scheduling for Salesperson Monitoring System

Seung Kim<sup>1</sup> · Yeongbin Min<sup>2</sup> · Wookey Lee<sup>3</sup> · Hyerim Bae<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-744, Korea

<sup>3</sup>Department of Industrial Engineering, Inha University, Incheon, 402-751, Korea

Salesperson Monitoring System (SMS) is geographic based information system that supports business auditing, sales area coordinating and customer management for each salesperson. Conventional SMSs focus mainly on the monitoring or logging functions, i.e., a salesperson locating or moving trail tracking. However, the schedules have been planned by human planner, and they have rarely been managed with a software system like SMS. In this paper, a mixed integer programming model for a salesperson routing schedule is provided. Then, 2-phase Genetic Algorithm (GA) is proposed to make salesperson routing schedule. Experimental results show a validity of the proposed method.

**Keywords:** Geographic Information System, Vehicle Routing Problem with Time Windows, 2-Phase Genetic Algorithm

#### 1. 서론

지리 정보시스템(Geographic Information System : 이하 GIS)는 지리, 공간 데이터를 분석 및 가공하여 교통, 통신 등과 같은 지형 관련 분야에 활용하는 시스템이다(Clarke, 1986). 근래에는 정보기술이 발전함에 따라 GIS를 기존의 시스템에 접목시켜 이전에는 제공되지 않던 서비스를 창출하고 있는 추세에 있으며, 물류 분야에서도 GIS를 도입하여 배송 차량의 이동 정보 등을 확보하고 운영의 효율을 높이려는 추세에 있다.

영업사원 관제시스템은 영업사원의 실시간 위치 파악, 거래명세표 현장 발행 여부 확인, 영업구역 침범확인, 거래처의 투명한 관리 등을 위해 사용되는 GIS 기반의 정보시스템이다. 기존 영업사원 관제시스템의 주요 기능들은 데이터의 로깅과 모니터링으로 집약할 수 있다. 구체적으로 영업사원의 과거 이동경로와 실시간 위치추적, 방문 구역 정의와 상호 이탈 침범

방지와 같은 기능들이 대표적인 예이다. 하지만 이러한 데이터 로깅과 모니터링 위주의 시스템 운영은 현재 영업사원들의 영업활동 관리에는 충분한 기능을 제공하고 있으나 최적화된 방문 경로와 일정 생성과 같은 계획기능은 미비한 실정이다(Lee, Kim and Shin, 2000). 기존의 영업사원 관제시스템에서 이러한 스케줄링 기능은 주로 사람의 직관에 의해 수기배차 방식이나 영업사원의 임의 판단으로 이루어지고 있으며, 이러한 경우 주어진 조건하에서 이루어지고 있는 방문 업무가 최적의 방침인지를 확인할 수가 없으며, 또한 방문사원의 변경이나 신규사원 채용과 같은 방문 환경의 변수가 발생할 때에는 빠른 대응이 어렵다는 문제가 있다.

본 연구에서는 영업사원의 방문에 따르는 현실적인 제약조건을 감안한 방문 경로 최적화 문제를 혼합정수계획 모형으로 모델링하였다. 모델링된 혼합정수계획 모형은 시간제약을 가지는 차량 경로 문제(Vehicle Routing Problem with Time Windows

\* 연락저자 : 배혜림 교수, 609-736 부산광역시 금정구 장전동 부산대학교 산업공학과, Tel : 051-510-2733, Fax : 051-512-7603,

E-mail : hrbae@pusan.ac.kr

2011년 5월 19일 접수; 2011년 10월 20일 게재 확정.

: 이하 VRPTW)의 일종으로 이 계열의 문제는 NP-hard 문제이기 때문에 작은 크기의 문제에 대해서는 최적해를 찾을 수 있으나 문제의 크기가 커지면 문제를 풀기 위한 계산시간이 매우 커진다(Lenstra and Kan, 1981). 따라서 합리적인 시간내에 해를 찾기 위한 다양한 방법들이 연구되어 왔다.

VRPTW 문제를 풀기 위한 기존의 연구 방법들은 크게 4가지 정도로 나뉠 수 있다. 첫 번째 방법은 정확한 해를 찾는 방법이다. Golden and Assad(1986), Desrochers *et al.*(1988), Solomon and Desrosiers(1988), Desrosiers *et al.*(1995)과 Cordeau *et al.*(2001)의 연구들이 이 분류에 속한다. VRPTW를 풀기 위한 두 번째 방법은 경로 생성 휴리스틱의 사용이다. 경로 생성 휴리스틱은 주어진 제약사항을 만족하면서 최소 비용 기준에 따라 가능해가 얻어질 때까지 노드를 순차적으로 선택해가는 방법이다. 대표적으로 노드를 몇 개의 그룹으로 분할한 후, 각 그룹에 대하여 경로를 설계하는 선분할 후경로법(cluster-first route-second)과 (Fisher and Jaikumar, 1981) 노드를 모두 포함하는 하나의 커다란 경로를 만든 후, 그 경로를 해의 도출이 가능한 작은 경로들로 분할시키는 방법인 선경로 후분할법(route-first cluster-second)이 (Solomon, 1986) 이 분류에 속한다. VRPTW를 풀기 위한 세 번째 방법은 해의 점진적 개선 방법이다. 이 방법은 초기해에서 이웃해들을 탐색해가면서 해의 개선을 도모하는 국소 탐색(local search)의 개념에 기반한 방법으로, 단계별로 하나의 가능해가 전체 비용이 적게 드는 다른 가능해로 바뀌도록 하여 더 이상 비용 절감이 없을 때까지 반복 실행하는 방법이다. Russell(1977)이 초기 연구를 수행한 이후 속도 개선을 위해 비가해의 선별이나 불필요한 목적함수의 평가 등을 생략하는 등의 방법이 Savelsbergh(1990, 1992), Solomon *et al.*(1988) 등에 의해서 연구되었다. VRPTW를 풀기 위한 네 번째 방법은 수리계획법에 기반한 방법이다. 이 방법은 차량 경로 문제에 포함된 수리계획법 수식을 직접적으로 이용하는 방법이다. 순수하게 VRPTW에 부가되는 제약사항이 아닌 경우 추가적인 제약사항들을 다루기 위해서는 이러한 접근이 용이하며, 본 연구에서는 현실적인 제약사항이 추가된 VRPTW 문제를 혼합정수계획 모형으로 모델링 하고 모델의 해 생성을 위해 2단계 GA(Genetic Algorithm) 모델을 제안하였다.

본 연구를 통해 얻을 수 있는 기대효과는 다음과 같다. 첫째, 생성된 최적 배송 경로 대비 현 진척을 모니터링 할 수 있다. 주어진 제약 조건 하에서 구한 최적 방문 경로는 GIS 관제 시스템을 통해 실시간으로 모니터링되고, 배송 사원이 최적 경로에서 이탈하거나 계획대비 진행사항이 느려지는 모습이 관측될 경우 빠르게 대응할 수 있다. 둘째, 항시 가능해를 유지하면서 해의 개선을 추구하는 GA 모델을 사용하므로 차량 고장, 사고, 긴급 주문 등과 같은 예외 상황이 발생하더라도 실시간의 근사 최적 재 스케줄링을 가능하게 한다. 셋째, 물류 서비스 공급자와 수요자 양쪽 모두의 서비스 품질을 향상시킨다. 영업사원의 입장에서는 PDA, 스마트폰 등의 모바일 기기들을 이용해 스케줄링된 배송계획을 실시간으로 확인하여 배송 업

무에 반영할 수 있어 배송 시간과 유류 소비에 관한 일관성을 유지할 수 있게 되고, 이러한 정보들이 쌓여 물류 서비스 공급자는 보다 합리적인 관리를 할 수 있다. 또한 배송 사원이 배송 예고를 개별 업체에게 통보할 수 있으므로 물류 서비스 수요자의 일정 계획에도 긍정적으로 기여할 수 있게 된다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 연구에서 다루고 있는 문제 정의 및 혼합 정수 계획 모형을 제 2장에서 설명하고 본 연구에서 사용한 2단계 GA 방법을 제 3장에서 설명한다. 제 4장에서는 2단계 GA 방법으로 생성된 방문 스케줄에서 시간 제약을 최대한 지키며 방문지별 방문 시간을 결정하는 전방전개 스케줄링(Forward Scheduling)과 후방전개 스케줄링(Backward Scheduling)을 설명한다. 제 5장에서 실험을 통해 제안된 방법론의 타당성을 검증하고 마지막으로 제 6장에서 결론을 맺는다.

## 2. 문제 정의 및 모형화

### 2.1 문제 정의

본 연구에서는 아래와 같은 제약 사항들을 고려한다.

- 한 영업사원이 일주일 간 다수의 방문지를 방문한다.
- 각 방문지는 요구되는 두 가지의 방문 형태를 갖는다. 임의 방문지는 방문 요일을 지정하지 않고 일주일 간의 방문 횟수만을 요구하며, 고정 방문지는 지정된 방문 횟수와 요일을 요구한다.
- 각 방문지는 최단시작시간(earliest start time)과 최지시작시간(latest start time)으로 구분되는 방문 선호 시간제약(time windows) 구간을 갖는다. 방문 선호 시간제약은 총 3등급이 있으며, 각 방문지는 되도록 우선 순위가 높은 방문 선호 시간제약 구간에 방문을 하는 것을 요구한다. 다른 제약사항들로 인해 시간제약을 어기는 방문이 발생할 때는 그 정도에 비례하는 벌금이 발생한다.
- 각 방문지는 중요도에 따른 등급을 갖는다. 높은 등급을 갖는 방문지는 방문시점 결정시 낮은 등급의 방문지보다 방문 선호 시간제약을 우선적으로 만족시켜야 한다. 여기서 방문지 중요도는 총 5등급으로 구분된다.

<Figure 1>은 위의 제약사항들이 포함된 문제 입력데이터의 예이다. 전문화된 제약사항 외에 기본적인 방문지의 지리데이터(KATECH 좌표계 상의 방문지 좌표)와 각 방문지에서 필요한 소요 서비스 시간이 추가적으로 나타나 있다.

### 2.2 혼합 정수 계획 모형

모델링에 사용되는 기호는 다음과 같다.

- $N$ : 방문지 집합,  $N = N_F \cup N_R$
- $N_F$ : 방문 요일이 정해진 고정 방문지 집합,  $N_F \subseteq N$

출발지	번호	위도	경도	SHOPNAME	요구 방문 패턴										방문 선호 시간제약			서비스 시간(분)	SHOPADDR				
					등급	구분	패턴	월	화	수	목	금	토	일	선호1	선호2	선호3						
	0	37.26	126.55	금천영업소																			
방문지	1	37.22	126.56	미성마트	4	임의	주2										08~13	14~18		20	경기도 군포시 산본동 1061-3 지출		
	2	37.25	126.55	멧돌죽두빈대떡	4	임의	주1										09~12	13~18	19~22	10	경기도 안양시 만안구 석수동 80-5		
	3	37.27	126.53	럭키할인마트	5	임의	주1										10~12			10	경기도 광명시 소하동 36-5		
	4	37.31	127.02	미건코아	5	임의	주1										09~15			20	서울시 강남구 청담동 1-16		
	5	37.26	126.53	청산	5	임의	주2										11~18	19~20		30	광명 소하동 1246-6		
	6	37.28	126.54	금천공판장	5	고정	화		1								10~14	15~18		30	금천구 시흥동 8-11		
	7	37.27	126.55	올마트	5	고정	목				1						09~12	13~18		30	서울시 금천구 시흥동 912-20		
	8	37.27	126.54	지원상회	5	고정	월	1									08~12			20	서울시 금천구 시흥동 993-4		
	9	37.28	126.53	베스트마트	1	고정	월	1									11~18			10	경기도 광명시 하안동 34-2		
	10	37.29	126.56	한아름	1	고정	목금				1	1					11~15	15~18		20	서울 관악 신림 1438-12		
	11	37.28	126.54	에스케이슈퍼	1	임의	주2										09~18			10	서울시 금천구 독산동 910-6		
	12	37.29	126.53	진미하이마트	1	임의	주1										11~14			10	서울시 구로구 가리봉동 132-53		
	13	37.29	126.53	은일여고	1	고정	토						1				09~16	17~19		10	구로 2동 390-42		
	14	37.31	126.55	다묘아할인마트	2	고정	일							1			08~15	16~18	19~22	20	서울시 영등포구 신길동 192-139		
	15	37.31	126.55	왕마트	2	고정	월수	1		1							09~13	14~17		30	서울 영등포구 신길동 186-148		

Figure 1. 입력데이터의 형태와 예(판매원 ‘김성수’ 문제)

- $N_R$ : 방문 요일을 임의로 정할 수 있는 임의 방문지 집합,  $N_R \subseteq N$
- $K_i$ :  $i \in N_F$  방문지의 고정 방문 요일
- $i, j = 0, \dots, n$ : 출발지와 방문지에 대한 인덱스,  $i, j \in N$ ,  $i = 0$ 이면 출발지,  $n =$  방문지의 총수
- $k = 0, \dots, 6$ : 요일을 나타내는 인덱스,  $k = 0$ 는 월요일,  $k = 6$ 은 일요일
- $p = 1, 2, 3$ : 방문 선호 시간제약 구간의 우선 순위를 나타내는 상수 인덱스
- $x_{ijk}$ :  $k$ 요일에  $i$ 방문지와  $j$ 방문지 사이의 이동 유무, 0이면 이동하지 않음, 1이면 이동
- $d_{ij}$ :  $i$ 방문지와  $j$ 방문지 사이의 이동 비용
- $M$ : 매우 큰 수
- $T_{ik}$ :  $k$ 요일에  $i$ 방문지에 도착하는 시간(분)
- $s_i$ :  $i$ 방문지에서의 서비스 시간(분)
- $t_{ij}$ :  $i$ 방문지와  $j$ 방문지 사이의 이동시간(분)
- $e_{ip}, l_{ip}$ :  $i$ 방문지에 대한 시간제약 구간  $p$ 의 최단 시작시간, 최지 시작시간(분)
- $P1_{ikp}, P2_{ikp}$ :  $i$ 방문지,  $k$ 요일의 시간제약 구간  $p$ 에 대한 방문 시간의 어금 정도(분)
- $c_i$ :  $i$ 방문지의 등급별 벌금 가중치(총 5단계)
- $v_i$ :  $i \in N_R$  방문지의 임의 요구 방문 횟수

이 문제에서 풀어야 하는 결정변수는 이전 변수인  $x_{ijk}$ 와 도착시간을 나타내는 연속형 변수  $T_{ik}$ 가 된다. 위 기호를 사용한 혼합정수 계획 모형은 다음과 같다.

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^6 d_{ij} x_{ijk} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=0}^6 \sum_{p=1}^3 c_i (3/p) (P1_{ikp} + P2_{ikp}) \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{i=0}^n x_{ijk} = \sum_{j=0}^n x_{ijk} \quad \forall k \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^6 x_{ijk} = v_i \quad \forall i \in N_R \quad (3)$$

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

$$T_{ik} \geq T_{ik} + s_i + t_{ij} + M(x_{ijk} - 1) \quad \forall i, j, k \quad (5)$$

$$e_{ip} \leq T_{ik} + (P1_{ikp} - P2_{ikp}) \leq l_{ip} \quad \forall i, k, p \quad (6)$$

$$T_{0k} = s_0 = 0 \quad \forall k \quad (7)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k \quad (8)$$

$$P1_{ikp}, P2_{ikp}, T_{ik} \geq 0 \quad \forall i, k, p \quad (9)$$

식 (1)은 문제의 목적함수로 영업사원이 일주일간의 전체 방문지 방문에 걸리는 총 이동 비용과 방문지 방문시 방문시간대를 지키지 못함으로써 발생하는 벌금의 합이 최소화가 된다. 방문지 방문시 발생할 수 있는 벌금은 식 (6)에서 설명한다. 식 (2)는 방문 경로는 모두 연결되어야 한다는 제약을 나타낸다. 식 (3)은 1주일 간의 요구 방문 횟수만 주어지는 임의방문 형태에 대한 제약식이다. 식 (4)는 고정방문 형태에 대한 제약식이다. 식 (5)는 특정방문지의 도착시간은 이전 방문지점에서의 도착시간과 그 지점에서의 서비스 시간 및 해당 방문지로의 이동시간의 합보다는 커야 한다는 의미이다. 식 (6)은 방문지로의 도착 시간을 나타내는 변수  $T_{ik}$ 가 방문지에 주어진 시간제약의 상한과 하한, 즉, 최단시작시간  $e_{ip}$ 와 최지시작시간  $l_{ip}$  사이에 있어야 함을 의미한다. 이때, 방문지의 할당된 시간제약의 상한과 하한을 벗어나는 방문이 발생한다면 그 정도를 나타내는 변수  $P1_{ijk}$  또는  $P2_{ijk}$ 가 0이상의 양의 값을 갖게 된다. 이때 변수  $P1_{ijk}$ 와  $P2_{ijk}$ 는 서로 상호배타적이다. 즉, 시간제약이 발생한다면 시간제약의 상한 또는 하한중 어느 한쪽으로부터 시간제약이 발생하게 되며 그에 따라  $P1_{ijk}$ 와  $P2_{ijk}$ 는 두 변수중 한 변수만 0 이상의 양의 값을 갖게 되고, 다른 나머지 변수는 0의 값을 갖게되며, 시간제약이 발생하지 않으면 두 변수 모두 0을 갖는다. 식 (7)은 출발지에서의 도착시간과 서비스 시간은 0이

라는 의미이고, 식 (8)은 각 요일별로 방문지간의 이동을 나타내는 결정변수  $x_{ijk}$ 는 0이나 1의 두 값만을 갖는 이진변수임을 나타내는 조건이며, 식 (9)는 나머지 결정변수  $T_{ik}, P1_{ijk}, P2_{ijk}$ 는 양의 값을 갖는다는 비음의 조건을 나타내는 제약식이다.

### 3. 2단계 GA 모형

앞서 설명한 혼합 정수 계획 모형은 크게 두 부분으로 나누어 목적함수식의 왼쪽항과 제약식 (2), 식 (3), 식 (4)로 구성되는 방문 경로 생성에 대한 부분과 목적함수식의 오른쪽항과 제약식 (5), 식 (6), 식 (7)로 구성되는 시간제약의 어감을 최소화하는 방문 시점의 결정문제로 나뉠 수 있다. 본 연구에서는 방문 경로 생성을 위한 방법으로 주어진 문제를 두 단계의 GA 문제로 변환하여 푸는 2단계 GA법을 제안하고, 2단계 GA법으로 생성된 경로에 따르는 방문지 방문 시점 결정을 위한 방법으로 전방전개 스케줄링 및 후방전개 스케줄링법을 사용한다. 전방전개, 후방전개 스케줄링법은 이어지는 제 4장에서 설명한다. 기본적으로 이 혼합 정수 모형은 VRPTW 계열의 NP-hard 문제이므로 방문지의 수가 늘어날수록 기하급수적인 계산시간을 요구하게 된다. 따라서 현실적인 접근법으로 메타 휴리스틱 알고리즘이 필요하고, 본 연구에서는 메타 휴리스틱 중에서 유전자 알고리즘을 사용하였다.

유전자 알고리즘은 하나의 해에서 탐색을 시작하는 것이 아니라, 해집단(population)에서부터 탐색을 병렬적으로 수행한다. 해집단에서 하나의 해는 염색체(chromosome)이라 하고, 각 염색체는 유전인자(gene)로 이루어져 있다. 각 염색체들은 세대수(generation)로 표현되는 연속적인 반복 계산을 통해서 진화한다. 각 세대마다 유전 연산자 즉, 선별(selection), 교차(crossover), 돌연변이(mutation)을 통해서 환경에 적응해가면서, 적응도 함수(fitness function)에 따라 각 염색체가 평가(evaluation)되어 진다.

#### 3.1 해의 표현식

GA의 시작은 문제의 풀이를 위한 해의 표현식 결정에서부

터 출발한다. TSP(Traveling Salesperson Problem)나 VRP(Vehicle Routing Problem)와 같은 일반적인 GA 문제에 있어서는 다양한 표현식과 그에 따른 유전 연산자들이 개발되어 있다. TSP 문제에서 전형적으로 사용하는 ‘경로표현법(path representation)’은 해의 표현식이(3 1 2 4)와 같을 때 3번 도시를 처음 방문하고, 1번 도시를 두 번째 방문하고, 2번 도시를 세 번째 방문하고, 4번 도시를 네 번째에 방문하는 식으로 방문순서를 나타내게 된다(Xing *et al.*, 2008). <Figure 2>는 경로표현법에 따라 일주일동안 방문해야 하는 가능한 두 방문 경로 R1, R2를 나타내었다. 10번 방문지와 같은 고정 방문 형태, 즉, 지정 요일에 방문해야만 하는 형태의 방문지는 주어진 제약 사항과 같이 각각 R1과 R2 모두에서 지정된 요일에 할당되어야 한다. 다만 지정된 요일에서 몇 번째로 방문해야 하는지는 달라질 수 있다. 또한, 1번 방문지와 같은 임의의 방문 형태를 갖는 방문지는 주당 요구 방문횟수만 주어지므로 <Figure 2>의 R1에서는 수요일과 금요일에 할당되고 R2에서는 목요일과 토요일에 할당되고 있다. 물론 이때에도 해당 요일 내에서의 방문순서는 달라질 수 있으나 주당 요구방문 횟수만 지켜진다면 방문 요일은 달라질 수 있다. 이러한 경로표현법을 따르는 해 표현식에서는 TSP문제에서 전형적으로 사용될 수 있는 OX(Order Crossover), CX(Cycle Crossover), PMX(Partially Mapped Crossover)는 물론, 1점 교차나 2점 교차등의 유전연산자를 사용할 시, 해의 가능성을 유지할 수 없다(Kellegöz, Toklu, and Wilson, 2008).

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 전체 문제를 두 단계의 GA 문제로 분리하여 해결한다. 1단계에서는 임의의 방문지들에 대해 방문 요일을 결정하고, 2단계에서는 1단계에서 선택된 요일별 임의의 방문지에 고정 방문지를 포함하여 요일별로 선택된 모든 방문지의 방문 순서를 결정하게 된다. 단계별로 필요한 해의 표현은 1단계 문제를 풀기위한 random\_schedule 이 있고, 2단계 문제를 풀기위한 fixed\_schedule과 mixed\_schedule 이 있다. random\_schedule과 fixed\_schedule 및 이 두 표현식의 조합으로 이루어지는 표현식인 mixed\_schedule은 다음과 같이 구성된다. 먼저, random\_schedule의 유전인자는 요일을 의미하는 7진수 값이며, 전체 염색체의 길이는 임의방문지의 개수로 결정된다. 즉, 각 유전인자의 위치는 전체 임의방문지들 중의 순서에 대응되며 임의방문지의 방문요구 횟수는 유전인

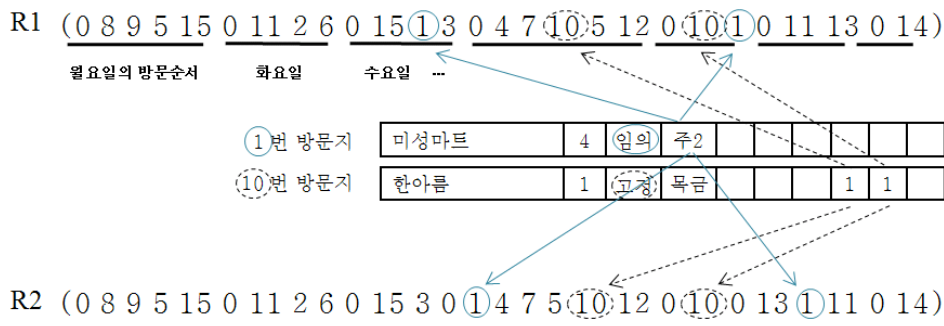


Figure 2. ‘경로표현법’에 따른 생성 가능한 두 해의 예제

자인 7진수 값의 자리수에 대응된다. 이에 반해, fixed\_schedule의 유전인자는 고정방문지 자체를 나타내는 숫자와 고정방문 요일을 구분하는 구분자(delimiter) 0으로 구성된다. 예를 들어, random\_schedule(35 2 3 4 14 26 4)은 ‘첫 번째 임의방문지는 수요일(3)과 금요일(5)에 방문하고, 두 번째 임의방문지는 화요일(2)에 방문 한다’는 의미로 해석된다. 그리고 fixed\_schedule(0 8 9 15 0 6 0 15 0 7 10 0 10 0 13 0 14)은 각각 ‘8번, 9번, 15번 방문지는 월요일에 방문해야 하고 6번 방문지는 화요일에 방문해야 하는 고정방문지’라는 등의 의미가 된다.

mixed\_schedule은 fixed\_schedule과 random\_schedule을 더해 실제의 방문 스케줄을 나타낸다. mixed\_schedule의 유전인자는 fixed\_schedule과 같이 방문지를 나타내는 숫자와 요일 구분을 위한 구분자 0으로 구성된다. 단, mixed\_schedule은 생성과정에서 random\_schedule의 요일별 방문 순서가 임의적으로 결정되어 추가되므로 fixed\_schedule의 염색체 보다 크기가 증가된다. 예를 들어, fixed\_schedule이(0 8 9 15 0 6 0 15 0 7 10 0 10 0 13 0 14)과 같고, random\_schedule이(35 2 3 4 14 26 4)와 같다면 가능한 mixed\_schedule 중의 하나는 <Figure 2>의 R1인(0 8 9 5 15 0 11 2 6 0 15 1 3 0 4 7 10 5 12 0 10 1 0 11 13 0 14)가 될 수 있다. 또 다른 생성 가능한 mixed\_schedule은 <Figure 2>의 R2와 같다.

1단계에서 사용하게 되는 모집단은 random\_schedule 만을 사용하게 되며 1단계에서는 임의 방문지의 방문 요일을 결정하고, 각 요일내에서의 방문순서는 2단계에서 결정된다. <Figure 3>은 판매원 ‘김성수’ 문제(총 방문지 개수 15)에서 전체 방문지의 방문형태에 대해 주어진 fixed\_schedule와 1단계에서 모집단으로 사용하는 임의의 random\_schedule을 이용하여 만들어진 mixed\_schedule의 예를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 8, 9, 15번 방문지는 월요일에 고정방문이고, 6번 방문지는 화요일에 고정방문이므로 mixed\_schedule에서도 월요일과 화요일에 할당된다. 첫 번째 임의방문지의 방문요일과 세 번째 임의방문지의 방문요일은 각각 35와 3 즉, 수, 금요일 및 수요일이므로 1번 방문지는 수요일과 금요일에 방문하게 되고 3

번 방문지는 수요일에 방문하게 된다. 단, 해당요일의 방문순서에 따라 해당요일 방문 경로의 전체길이는 달라질 수 있고 이는 2단계 GA를 통해 평가된다.

2단계에서는 1단계 GA 문제를 구성하는 모집단을 구성하는 하나의 해(random\_schedule)에 대해서 fixed\_schedule을 감안한 mixed\_schedule을 위와 같은 방법으로 만들어내고 이를 요일별로 7개의 경로식으로 분해한 후 분해된 7개의 TSP 문제를 풀어서 1단계 문제의 모집단을 구성하는 해 하나에 대한 평가를 마친다. 전체 과정을 그림으로 표현하면 <그림 4>와 같다.

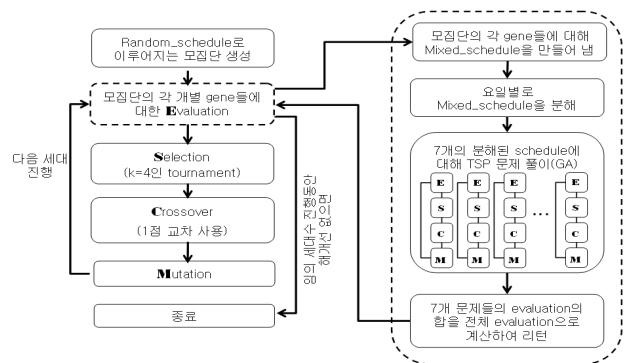


Figure 4. 2단계 GA 모형

3.2 유전 연산자

제 3.1절에서와 같은 해의 표현식(random\_schedule)을 쓰면 상위 1단계 문제에 대해 1점 교차나 2점 교차 같은 전통적인 교배연산을 사용하더라도 해의 가능성이 손상되지 않는다. 상위 1단계 문제에서 사용한 돌연변이 연산은 임의의 염색체좌(locus)를 random\_schedule에서 선택한 후 선택된 염색체좌의 자리수에 해당하는 임의의 7진 난수를 발생시켜 선택된 염색체좌를 대체(replace)하는 방법을 사용하였다.

하위 2단계 문제는 일반적인 TSP 문제의 풀이에 준하며, 본

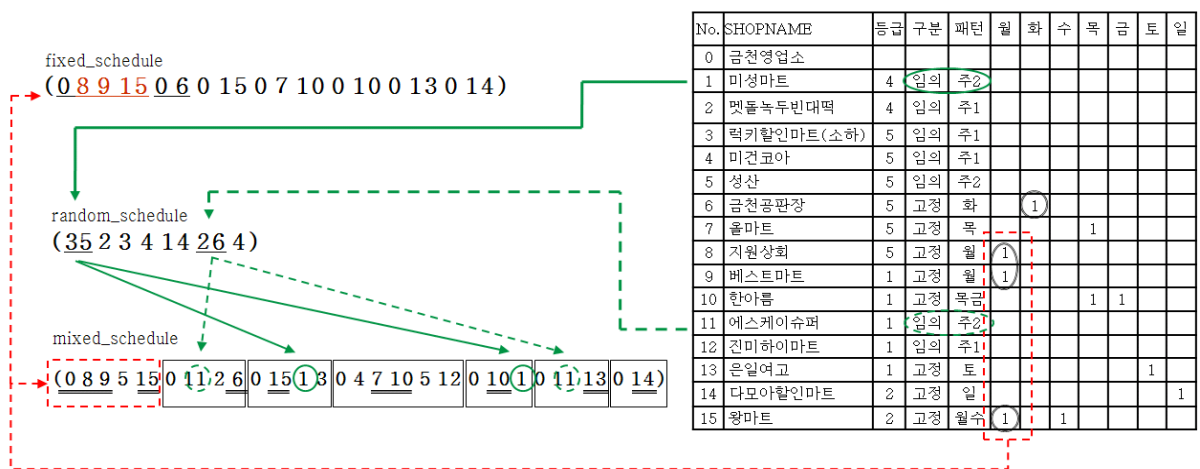


Figure 3. mixed\_schedule 생성의 예

연구에서는 교배연산에는 TSP 문제의 해법에 유용한 것으로 알려진 '개선된 인접인자 재결합 교차'(Starkwether *et al.*, 1991)를 사용하였고, 돌연변이 연산은 임의로 두 방문지를 선택하여 위치를 교환하는 SWAP 연산을 사용하였다. 선별연산은 1, 2단계 모두  $k = 4$ 인 토너먼트 연산을 사용하였다.

#### 4. 전방전개/후방전개 스케줄링

제 4장에서 매 요일별 방문지의 방문 경로가 주어졌을 때 이를 준수하면서 최대한 시간제약을 어기지 않는 방문시간대를 결정하는 문제에 대해서 설명한다. 앞서 설명한 2단계 GA 모형은 방문 경로 생성 부분만을 다룬 유전 연산 모형이었고, 제 2.2절에서 설명한 혼합 정수 계획 모형에서와 같이 목적 함수에 각 방문지에 대한 방문시점이 시간제약을 어김으로서 발생하는 벌금이 포함되어야 된다. 물론 이 벌금은 <그림 4>의 하위 GA 문제의 풀이를 통한 상위 GA 문제의 해의 평가 단계에서 합산된다.

매 요일별로 주어진 방문 경로에 대한 구체적인 방문 시점 결정에 있어 가장 중요한 기준은 방문지의 등급이다. 방문지의 등급이 높을수록 방문지에 할당된 시간제약이 지켜져야 한다. 각 방문지에 대한 방문 시간대 결정의 경우의 수는 방문 순서가 주어진다 하더라도 방문지의 수가  $n$ 이고 방문 선호 시간대의 수가  $m$ 이라할 때 최대  $m^n$ 이 된다. 본 연구의 경우 방문 선호 시간제약 구간의 수가 3이므로 방문 선호 시간 결정의 문제의 경우의 수는 최대 3<sup>n</sup>이다.

물론 현실적인 관점에서 방문지 방문 시점의 결정은 시간이 라는 연속 변수의 선택이므로 방문 시간대의 선택이라는 이산적인 변수의 조합과는 다른 매우 많은 대안의 수를 갖게 될 것이다. 따라서 이러한 방문순서(방문 경로)가 주어지는 상황에서의 방문시점 결정에도 적절한 휴리스틱이 필요하게 된다.

이해의 편의를 위해 1) 각 방문지의 등급이 모두 동일하다는 점과 2) 선호 시간대의 종류가 하나라는 가정이 있을 때 전방전개 스케줄링법을 따르는 *dailySchedule1*에 대해서 먼저 설명하고 1)의 가정을 완화한 경우 즉, 전방전개와 후방전개 스케줄링을 함께 수행하는 *dailySchedule2*에 대해서 설명한 후 1), 2)의 가정을 완화시킨 일반화된 경우의 *dailySchedule3*에 대해서 설명한다.

먼저, 고정된 요일( $k = K$ )과 선호시간대의 종류가 하나( $p = P$ )인 경우에 대해 방문지의 등급이 모두 동일하다고 한다면, 어떠한 방문지를 최초 선택하더라도 동일한 상황이므로 최초 방문지의 도착시간(방문시점)을 최초방문지의 최단시작시간으로 설정할 수 있다( $T_{iK} = e_{iP}$ ). 두 번째 방문지의 도착시간은 벌금의 최소화를 위해 첫 번째 방문지의 도착시간( $T_{iK}$ )에서 첫 번째 방문지에서의 서비스시간( $s_i$ )과 첫 번째 방문지에서 두 번째 방문지로의 이동시간( $t_{i,j}$ )의 합이 되거나, 두 번째 방문지에 대한 최단시작시간( $e_{jP}$ )중 큰 값이 되어야 한다. 이러한 식

으로 최초방문지의 방문시점부터 차례대로 방문지의 방문시점을 전방향으로 결정하는 절차가 *dailySchedule1*이다. 이러한 스케줄을 따를 때에는 시간제약의 어김은 최지시작 시간을 넘어서 방문지 도착에 대해서만 발생하므로 총 시간제약 어김의 합은  $\sum_{i=1-n} \max\{T_{iK}-l_{iP}, 0\}$ 이 된다.

```

Procedure dailySchedule1(S, I, E)
Input :
    S = {si|i = 1, ..., n}
        // 전체 방문지별 서비스 시간 집합
    I = {tij|i = 1, ..., n, j = i+1}
        // i에서 j번째 방문지까지의 이동시간 집합
    E = {eiP|i = 1, ..., n}
        // i번째 방문지의 우선순위 P인 시간제약에 대한 최단시작시간 집합
Output :
    T = {TiK|i = 1, ..., n}
        // i번째 방문지의 K요일에서의 방문시간 집합
For (i = 1; i <= n; i++)
    If i = 1 then T1K := e1P
    Else TiK := max{Ti-1,K+si-1+ti-1,i, eiP}
    
```

다시, 조건 1)이 만족되지 않는 즉, 방문지의 등급이 모두 갖지 않는 상황이라면 가장 등급이 높은 방문지( $i = i'$ )의 방문시간을 해당 방문지의 최단시작시간으로 설정하고( $T_{i'K} = e_{i'P}$ ), 이후 진행되는 방문지에 대한 도착시간은 *dailySchedule1*에서와 같은 전방전개 스케줄링을 수행한다. 또한 등급이 가장 높은 방문지의 직전 방향으로의 스케줄링을 차례대로 전방전개 스케줄링과 유사한 방법으로 후방전개 스케줄링 한다. 이때의 시간제약의 어김은 최지시작 시간을 넘어서 방문지 도착과 최단시작시간에 앞선 방문지 도착, 양쪽 모두 발생하므로 그 총합은  $\sum_{i=1-n} \max\{T_{iK}-l_{iP}, 0\} - \sum_{i=1-n} \min\{T_{iK}-e_{iP}, 0\}$ 이 된다.

```

Procedure dailySchedule2(L, G, S, I, E)
Input :
    L = {liP|i = 1, ..., n}
        // i번째 방문지의 우선순위 P인 시간제약에 대한 최지시작시간 집합
    G = {gi|i = 1, ..., n}
        // i번째 방문지의 등급 집합
    S, I, E // dailySchedule1과 동일
Output :
    T // dailySchedule1과 동일
    q := Find smallest i which has a highest grade in G
    TqK := eqP
    For (i = q-1; i >= 1; i--)
        TiK := min{Ti+1,K-si-ti,i+1, liP-si-ti,i+1}
    For (i = q+1; i <= n; i++)
        TiK := max{Ti-1,K+si-1+ti-1,i, eiP}
    
```





Table 1. 혼합정수계획 모형과의 결과 비교

문제	혼합정수계획 모형			2 단계 GA 모형	
	방문지개수	평균계산시간	목적함수값	평균계산시간	목적함수값
Burma14	14	3시간 28분	68.5431	56초	72.2542
Bayg29	29	11시간	90002.3170	1분 23초	120012.0212
Att48	48	N/A	N/A	3분 08초	20128.2100
Eil51	51	N/A	N/A	3분 54초	890.2287

해의 질 측면에서, 2단계 GA 모형의 결과는 Bruma14 문제에 대해서는 최적해 대비 105.41%, 133.34%의 해를 도출하였다. 이는 실제 GIS 기반의 시스템에서는 최적해보다는 실시간의 즉각적인 해의 도출이 중요한 사안이 되므로 절대적인 계산 시간을 감안할 때 충분히 받아들일 만한 수준의 해라고 판단된다.

## 6. 결론

본 연구에서는 VRPTW 문제의 일종인 영업사원 관제시스템의 최적 방문 계획기능의 구현을 위해 2단계의 GA 모형과 전방진개/후방진개 스케줄링법을 이용하여 영업사원의 방문 경로와 방문 시점 결정 문제를 접근하였다. 본 연구에서 다른 영업사원의 방문지 방문 스케줄링 문제는 전통적인 VRPTW 문제와 달리 시간제약의 어감을 허용하고 시간제약 구간이 다수 존재하며 방문지별로 중요도가 등급별로 달리 부여될 뿐만 아니라 방문형태가 임의와 고정형태로 나뉘는 등의 복잡한 제약사항들이 추가됨으로써 전통적인 VRPTW 문제보다 더 많은 계산 부하를 요구함에도 불구하고 제안된 방법을 적용하여 효과적으로 문제를 풀 수 있었고, 실험을 통해 제안된 방법을 유효성을 검증하였다.

그러나 방문경로 문제와 방문시점 결정 문제를 분할하여 접근하는 점과 각기 분할된 문제를 휴리스틱 기법으로 다룸으로 인해 최적해를 보장하지 못하는 점은 연구의 한계점으로 남는다. 휴리스틱 기법을 사용하더라도 방문경로의 결정과 동시에 방문시점을 결정하는 방식으로 문제를 접근한다면 도출된 해와 최적해 사이의 차이는 제안된 방법보다 크게 줄일 수 있을 것으로 생각되며 이를 위해서는 효과적인 해의 표현식에 대한 추후 연구가 요구된다.

## 참고문헌

Clarke, K. C. (1986), Advances in geographic information systems, *Computers, Environment and Urban Systems*, **10**(3/4), 175-184.  
 Cordeau, J. F., Desautniers, G., Desrosiers, J., Solomon, M. M., and Soumis, F. (2001), The VRP with time windows, *The Vehicle Routing Problem, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, SIAM*, Philadelphia, PA, 157-194.  
 Desrosiers, J., Dumas, Y., Solomon, M. M., and Soumis, F. (1995), Time constrained routing and scheduling, *Handbooks in Operations*

*Research and Management Science 8 : Network Routing*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands, 35-139.  
 Desrochers, M., Lenstra, J. K., Savelsbergh, M. W. P., and Soumis, F. (1988), Vehicle routing with time windows : Optimization and approximation, *Vehicle Routing : Methods and Studies*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands, 65-84.  
 Fisher, M. and Jaikumar, R. (1981), A generalized assignment heuristic for vehicle routing, *Networks*, **11**(2), 109-124.  
 Golden, B. L. and Assad, A. A. (1986), Perspectives on vehicle routing : Exciting new developments, *Operations Research*, **34**(5), 803-809.  
 Kellegöz, T., Toklu, B., and Wilson, J. (2008), Comparing efficiencies of genetic crossover operators for one machine total weighted tardiness problem, *Applied Mathematics and Computation*, **199**(2), 590-598.  
 Lee, M. H., Kim, N. H., and Shin, J. Y. (2000), Design of Heuristic Algorithm of Automatic Vehicle Delivery Support System, *Journal of Industrial and Systems Engineering*, **23**(58), 59-69.  
 Lenstra, J. and Kan R. (1981), Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems, *Networks*, **11**(2), 221-227.  
 Russell, R. (1977), An effective heuristic for the M-tour traveling salesman problem with some side conditions, *Operations Research*, **25**(3), 517-524.  
 Savelsbergh, M. W. P. (1990), An efficient implementation of local search algorithms for constrained routing problems, *European Journal of Operational Research*, **47**(1), 75-85.  
 Savelsbergh, M. W. P. (1992), The vehicle routing problem with time windows : Minimizing route duration, *ORSA Journal on Computing*, **4**(2), 146-154.  
 Solomon, M. M. (1986), On the worst-case performance of some heuristics for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints, *Networks*, **16**(2), 161-174.  
 Solomon, M. M., Baker, E. K., and Schaffer, J. R. (1988), Vehicle routing and scheduling problems with time window constraints : Efficient implementations of solution improvement procedures, *Vehicle Routing : Methods and Studies*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands, 85-106.  
 Solomon, M. M. and Desrosiers, J. (1988), Time window constrained routing and scheduling problems, *Transportation Science*, **22**(1), 1-13.  
 Starkwether, T., McDaniel, S., Mathias, K., Whitley, C., and Whitley, D. (1991), A Comparison of Genetic Sequencing Operators, *Proc. of the 4th Int. Conf. on Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann Publishers, Los Altos, CA, 69-76.  
 Xing, L. N., Chen, Y. W., Yang, K. W., Hou, F., Shen, X. S., and Cai, H. P. (2008), A hybrid approach combining an improved genetic algorithm and optimization strategies for the asymmetric traveling salesman problem, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **21**(8), 1370-1380.  
 TSPLIB, <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/>.