

도심지의 지체 시간을 고려한 차량 경로 계획에 관한 연구

윤태식¹ · 정석재^{1*} · 김정섭¹

Vehicle Routing Problem with Delay Time in the Downtown

Yun Tae Sik · Jeong Suk Jae · Kim Kyung Sup

ABSTRACT

The travel speed between two locations within the downtown differs according to time horizon and district. Also, There is delay time on numerous traffic signals and bottle neck areas. It has an influence on planning the vehicle routing. However, there are almost no studies focusing on delay time for distance and travel time between two locations among the existing researches for vehicle routing problem (VRP). In this paper, we approach the real VRP by designing the model which estimates the delay time for traffic signal and bottle neck areas. The results of computation experiment demonstrate that proposed method performs well and have better solution than other method not considering the delay time.

Key words : VRP with delay time, Estimation model for delay time, Genetic algorithm

요약

도심지내 이동시 지점 간 속도는 시간대와 해당 지점에 따라 차이가 발생한다. 또한 두 지점 사이에는 수많은 신호 대기와 병목 구간 등으로 인한 지체가 빈번히 발생한다. 이러한 지체 시간은 차량 경로를 계획함에 있어서 상당히 중요한 요소로 작용한다. 하지만 기존 차량 경로 문제 중 지점 간 이동 거리와 이동 시간에 초점을 맞춘 연구에서 지점 이동시 발생하는 지체에 대해서는 연구가 활발히 진행되지 않았다. 이에 본 연구에서는 지체 시간을 고려한 현실적인 차량 경로 문제에 접근한다. 이를 위해 신호 대기 간 발생하는 지체 시간과 병목 구간에서 발생하는 지체 시간을 추정하는 모델을 제시한다. 추정된 결과를 반영한 최적 차량 경로를 도출하여 지체 시간을 고려하지 않은 경로와 결과를 비교해 봄으로써 본 연구에서 제시하고 있는 방법이 우수하며 효율적임을 제시한다.

주요어 : 지체 시간 고려 차량 경로 문제, 지체 시간 추정 모형, 유전 알고리즘

1. 서론

현재 대부분의 물류 회사에서는 각자 기업의 특성에 맞는 시스템을 구축하고 활용 중이다. 그러나 대부분 이러한 시스템 보다 기업 내의 전문가들의 경험적 노하우를 바탕으로 차량 경로를 계획하고 있다. 하지만 도심지와 같이 하루 동안 각 시간에 따라 동적으로 변화하는 교통 상황 속에서 기존의 경험적 노하우에 의존하는 것은 상당한 오차가 발생하게 된다.

두 지점간의 이동 시간은 단지 거리에 의해서만 영향을 받는 것은 아니며 앞서 언급한 바와 같이 지체 요인에 큰 영향을 받는다. 지점 간 가장 최단 경로라도 그 구간이 상습적인 정체 구간 일 때 오히려 다른 경로를 선택하는 것이 시간 소요를 줄일 수 있다. 뿐만 아니라 그 구간을 우회할 수가 없다면 대안 경로를 고민하게 된다. 그리고 수많은 대안 경로 중 과연 어떠한 경로가 가장 효과적인가에 대한 문제가 발생하게 된다.

기존에 활발히 진행되어 오고 있는 시간에 따라 변화하는 속도를 고려한 연구로는 Hill & Benton(1992)은 특정 시간에 고객이 위치한 지점에서의 평균 차량 속도를 추정하는 모델을 제시 하였고, Malandraki & Daskin (1992)은 시간대에 따라 변화하는 VSP(Vehicle Scheduling Problem)에 대해 Nearest-Neighbor Search를 이용

2006년 12월 1일 접수, 2007년 3월 16일 채택

¹⁾ 연세대학교 정보산업공학과

주 저 자: 윤태식

교신저자: 정석재

E-mail; jae7811@yonsei.ac.kr

한 발견적 기법과 Cutting Planes를 이용한 발견적 기법을 제시 하였다. Ahn & Shin(1991)은 Time Window와 체증 시간대가 존재하는 VSP에 대해 Insertion 기법, Tour algorithm 기법을 이용하여 CPU의 시간 단축 실험을 하였으며 Park & Hong(1996)은 이동 구역과 시간대에 따라 달라지는 속도를 추정하는 모델을 제시하고 Bc-Saving 기법을 적용하여 총 이동 시간을 최소화하는 문제를 해결하였다.

하지만 대부분의 기존 연구에서는 두 지점 간 이동 속도를 평균 이동 속도로 추정 또는 가정하여 현실과는 많은 오차가 발생하게 된다. 또한 이동 구역을 나눌 때 그 구역의 크기에 대한 정의가 불분명하는 문제점이 있다. 즉, 구역을 크게 나눌 때 필요한 데이터의 수가 줄어들지만 정확도가 확연히 떨어지게 되고, 구역을 세분화하면 할수록 정확도는 증가하지만 수집 및 처리해야할 데이터의 수가 기하급수적으로 증가하게 되는 것이다.

이에 본 연구에서는 이러한 신호 대기과 병목 지체 구간에서 발생하는 지체 시간을 반영한 차량 경로 문제를 다루고자 한다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 연구의 모형을 정의한다. 3절에서는 신호로 인한 지체 시간과 도로의 합류로 인한 지체 시간을 추정하기 위한 수리 모형을 구축한다. 4절에서는 3절에서 추정한 지체 시간을 이용하여 전체 차량 경로 계획 모델을 수리적인 기법으로 제시하고 Genetic Algorithm을 이용한 문제를 제안한다. 5절에서는 실 데이터를 이용한 실험 및 결과를 분석하고 끝으로 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 모형정의

2.1. 모형의 개념

본 연구에서 다루고자 하는 분야는 VRP의 여러 분야 중 차량의 용량의 제한이 존재하는 CVRP(Capacitated Vehicle Routing Problem)과 지점의 방문시간에 대한 제약이 존재하는 VRPTW(Vehicle Routing Problem with Time Window)와 이를 본 연구에서는 VRPDT(Vehicle Routing Problem with Delay Time)으로 정의한다.

모형의 기본적인 사항은 다음과 같다.

- 각 차량들은 차고지를 출발하여 해당 구역 내의 모든 지점들을 방문한 후 다시 차고지로 복귀한다.
- 한 고객의 수요는 반드시 한 대의 차량에 의해서 충족 되어진다.
- 각 지점 간 이동 시 시간대에 따라 교통량과 속도가 변화한다.

- 지점 이동 간 신호로 인한 대기 시간 또는 도로의 합류로 인한 지체 시간이 발생한다.

기존의 차량 경로에서는 그림 1과 같이 지점 i에서 j로의 이동시 이동 시간은 신호대기로 인한 지체와 도로의 합류로 인한 지체를 고려하지 않고 단지 두 지점간의 평균 이동 속도를 고려하여 이동 시간을 추정하였다. 즉, 지점 i에서 j까지 t시간대에 차량 v로 이동 했을 때 총 이동 시간은 MT_{ij}^t 이다.

$$\text{총 이동시간} = MT_{ij}^t$$

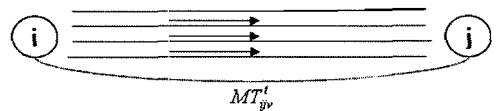


그림 1. 기존 연구에서의 두 지점 간 이동시간

하지만 실제 도심지에서는 그림 2와 같이 두 지점 사이에 교차로와 같은 신호 대기과 병목과 같은 도로 합류로 인한 지체 구간이 존재하게 된다.

즉, 두 지점간의 이동 시간은 각 신호대기 사이의 이동 시간의 합과 신호대기로 인한 지체 시간의 합 그리고 병목으로 인한 지체 시간의 합이 된다. 따라서 그림 1보다 더 현실 상황을 반영한 것이라 할 수 있다.

$$\text{총이동시간} = (MT_{i1}^t + MT_{12}^t + MT_{23}^t + MT_{3j}^t) + (d_1^t + d_2^t + d_3^t) + d_1^t$$

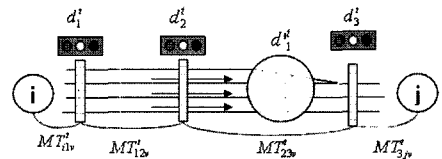


그림 2. 현실에서의 두 지점 간 이동 시간

2.2. 모형의 구축과정

모형 구축을 위한 전반적인 순서는 다음의 그림 3과 같다.

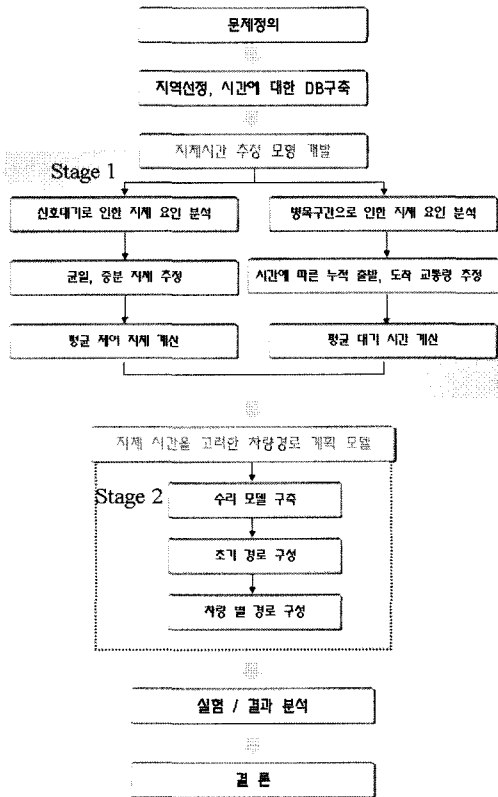


그림 3. 문제 해결 순서

3. 지체 시간 추정 모형 구축

3.1. 신호에 의한 지체

신호대기에 의한 지체는 고정 지체로서 주로 교차로에서 발생한다. 이러한 지체는 교통의 흐름에 의해 발생하는 것이 아니라 도로 구간에서의 차량 통행에 의해서만 발생한다. 본 연구에서 다루고자 하는 신호대기는 주로 신호교차로를 의미한다. 신호 교차로의 지체 시간 예측의 방법으로는 HCM(Highway Capacity Manual) 모형이 많이 사용되어 왔다. HCM 모형은 차량 당 평균 정지 지체를 이용하는 모형으로서 현장 조사가 용이하고 일정 간격을 두고 접근로에서 완전히 정지한 차량의 수를 기록하는 방법으로 나라별 도로환경에 맞는 특성을 고려한 변형된 모형들을 사용하고 있다. 본 연구에서는 현재 가장 널리 사용되고 있는 기본적인 HCM모형 [2]을 적용하고자 한다.

<Notation>

- C : 신호주기

- g : 해당 신호의 할당된 유효 녹색 시간 (초)
- X : 해당 차로군의 포화도 ($=V/c$)
- T : 분석 기간(시간)
- V : 분석 기간 중 해당 차로의 시간당 도착 교통량 (대/시)
- c : 차로의 용량 ($=S \times \frac{g}{C}$)
- S : 기본 포화 교통류율 ($=2200\text{vphg}$)
- d : 차량 당 평균 제어 지체
- d_1 : 균일제어 지체
- d_2 : 중분 지체, 임의 지체, 과포화 지체
- d_3 : 추가지체, 분석기간 이전에 잔류한 과포화 대기행렬로 인한 지체 (초)
- PF (Progression Factor) : 연동화 보정계수

신호 대기에서의 지체는 분석기간 동안에 도착한 차량에 대한 평균제어지체를 말하며, 여기에는 분석기간 이전의 해소되지 않은 잔여차량에 의해 야기되는 지체도 포함한다. 제어지체란 접근부의 감속지체 및 정지지체, 출발시의 가속지체를 모두 합한 접근지체를 말하며 분석기간 시작 전에 남아 있는 대기행렬에 의한 영향도 포함된다. 어느 차로의 차량 당 평균제어지체를 구하는 수식은 다음과 같다.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (1)$$

위의 식에서 분석기간 시작 전에 대기차량이 있으면 분석기간 초기에 도착한 차량은 대기행렬을 이루고, 이 대기차량들이 방출되는 동안 분석기간에 도착한 차량은 추가적인 지체를 해야 한다. 따라서 분석 시작시점에 대기차량이 없으면 이 추가지체는 고려할 필요가 없다. 이 추가지체는 분석기간 동안에 도착한 차량의 지체를 구하는 것이므로 분석기간 동안의 초기 대기차량의 지체는 고려하지 않는다. 즉, $d_3=0$ 으로 하여 연구를 진행한다.

따라서 본 연구에서는 식(1)을 다음과 같이 변형한다.

$$d = d_1(PF) + d_2 \quad (2)$$

앞에서 언급한 바와 같이 주어진 교통량이 교차로에 정확하게 일정한 차량 간격으로 도착한다고 가정할 때의 차량 당 평균지체는 다음과 같은 확정모형으로 구할 수 있다.

$$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{C}\right]} \quad (3)$$

증분지체는 비 균일 도착에 의한 임의지체(random delay)와, 분석기간 내에서 몇몇 과포화 주기(cycle failure)에 의한 과포화 지체(overflow delay)를 포함한다. 따라서 분석기간의 시작과 끝 부분에는 잔여 대기행렬이 없는 상태이다. 식 (4)는 증분지체를 구하는 식으로서, 이때 X는 1.0보다 큰 값을 가질 수도 있다.

$$d_2 = 900T \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{4X}{cT}} \right] \quad (4)$$

연동화 보정 계수는 차량이 실제로 일정한 간격으로 도착하지 않기 때문에 균일 제어 지체의 현실을 반영하기 위한 보정 계수이다.

3.2. 도로 합류에 의한 지체

일반적으로 도로의 합류부에서의 지체는 교통의 흐름을 주기적으로 중단하거나 서행하게 하는 교통 통제 시설이 없는 연속된 교통의 흐름에서 발견되는 현상으로 일시적으로 교통수요가 서비스를 받을 수 있는 양을 초과할 때 발생한다. 다음의 그림 4와 같은 병목 현상에서 쉽게 발견할 수 있다.

지점 X_1 에서부터 X_2 까지는 3차로로 진행하던 차량들이 도로의 공사 등으로 인하여 1차로가 폐쇄되어 X_3 부터 X_4 까지 2차로로 진행하여야 한다면 X_3 에서부터 지체가 발생할 수 있다.

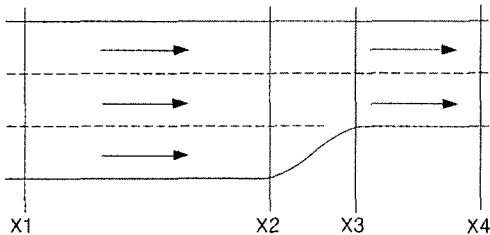


그림 4. 병목지점의 개요

<Notation>

- $A(t)$: 시간에 따라 변동하면서 증가하는 도착 누적 교통량

- q_A : 시간에 따라 변동하면서 증가하는 도착 교통류율
- $D(t)$: 시간에 따라 변동하면서 증가하는 출발 누적 교통량
- q_m : 시간에 따라 변동하면서 증가하는 출발 교통류율
- N : 차량대수
- $Q(t)$: 시간 t에서 대기하고 있는 차량의 대수 (=대기 길이).
- $W(t)$: 시간 t에서 도착한 차량이 출발할 때까지 기다리는 대기 시간
- TD : 총 대기시간 (=∑ 대기차량 × 대기시간)
- \bar{d} : 평균 대기 시간 (=총 대기 시간 / 총 대기 차량)

위의 상황을 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.

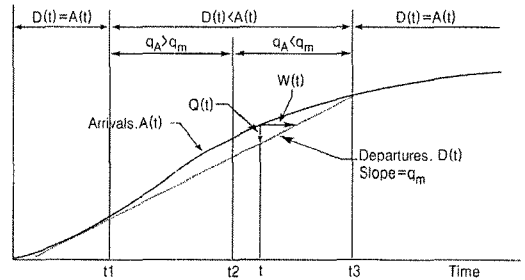


그림 5. 병목 지점에서의 지체도

시간 t 순간까지 차량이 도착 대수를 나타내는 도착 누적 분포 곡선 $A(t)$ 는 X_1 지점에서 측정할 수 있고, X_3 와 X_4 사이의 최대 교통류율인 q_m 을 X_2 지점에서 초과해서 통과할 수 없다. 따라서 출발 누적 분포곡선 $D(t)$ 의 기울기 역시 q_m 을 넘지 못한다. 시간에 따라 변동하면서 증가하는 도착 누적 교통량 $A(t)$ 와 도착 누적 교통류율 q_A 와 일정한 비율(q_m)으로 증가하는 출발 누적 교통량 $D(t)$ 간의 관계는 다음과 같이 설명할 수 있다. X_1 에 이르는 t_1 시간 이전까지는 $A(t)=D(t)$ 를 보이다가 이 지점을 통과하여 X_3 를 통과하는 t_3 까지는 $A(t)>D(t)$ 가 되어 누적된 도착교통량이 누적된 출발교통량 보다 많게 된다. 다시 X_3 를 지나면 이전과 같이 $A(t)=D(t)$ 가 된다. X_2 지점을 통과하는 t_2 시각의 전후에서는 $q_A > q_m$ 과 $q_A < q_m$ 으

로 변화하게 되어 점차 시간이 경과함에 정체가 있고 있는 차량의 수가 적어지게 되고 X_3 를 통과하면 다시 누적 도착대수와 누적 출발대수가 같게 된다. 누적 분포의 기울기가 교통류율로 표현되는 각각 도착교통량과 출발교통량을 가리킨다. 여기서 $Q(t)$ 는 시간 t 에서의 대기하고 있는 차량의 대수인 대기길이(Queue Length)이며 $W(t)$ 는 시간 t 에 도착한 차량이 출발할 때까지 기다리는 대기시간(Queue Time)이다. 이를 이용하면 지체와 관련된 다음과 같은 지표들을 만들 수 있다.

$$TD = \int_{t_1}^{t_3} Q(t)dt = \int_{t_1}^{t_3} [A(t) - D(t)]dt \quad (5)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \int_{t_1}^{t_3} Q(t)dt = \frac{1}{N} \int_{t_1}^{t_3} [A(t) - D(t)]dt \quad (6)$$

4. 차량 경로 계획 모델

4.1. 변수의 정의

<Parameter>

- N : 지점들의 수 ($1=$ 차고지)
- M : 시간대수
- V : 이용가능차량수
- Q_v : 차량 v 의 적재용량
- q_i : 지점 i 의 수요량
- C_v : 차량 v 의 차고지 귀환허용 시각
- MT_{ijt} : 지점 i 에서 j 로의 이동 시 걸린 시간
- WT_{ijt} : 지점 i 에서 j 로의 신호 지체 시간
- WT'_{ijt} : 지점 i 에서 j 로의 병목 지체 시간
- ST_v : 차량 v 의 차고지 출발 가능 시각
- U^t : 시간대 t 에서 구간의 상한 시각
- B : 매우큰수
- R : 하나의 차량 경로에 포함된 지점들의 집합
- $|R|$: 하나의 차량 경로에 포함된 지점들의 집합 (R)내의 지점 수

<Decision Variable>

- w_{iv} : 차량 v 가 지점 i 를 출발하는 시각
- Φ_{iv} : 차량 v 가 지점 i 를 가장 빨리 출발할 수 있는 시각
- $x_{ijv}^t = \begin{cases} 1, & \text{차량 } v \text{가 시간대 } t \text{에 지점 } i \text{에서 } j \text{로 이동시} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$
- $X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{구간 } (i, j) \text{가 하나의 차량 경로에 포함시} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$

- $C_{ijk}^t = \begin{cases} 1, & \text{만일 경로 } (i, j) \text{내에 신호대기 } k \text{가 존재시} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$
- $B'_{ijl} = \begin{cases} 1, & \text{만일 경로 } (i, j) \text{내에 병목지점 } l \text{이 존재시} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$

4.2. 수리 모델 구축

4장에서 추정한 지체 시간을 고려한 본 연구에서 제시하고 있는 VRPDT 모델의 수리 모형은 다음과 같다.

$$Min \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^V MT_{ijt} x_{ijv}^t + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^V WT_{ijk} C_{ijk}^t x_{ijv}^t + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^V WT'_{ijl} B'_{ijl} z_{ijv}^t \right] \quad (7)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T x_{ijv}^t = 1, \quad j = 2, 3, \dots, N \quad (8)$$

$$w_{ijv}^t - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T x_{ijv}^t \geq 0, \quad j = 2, 3, \dots, N \quad (9)$$

$$z_{ijv}^t - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T x_{ijv}^t \geq 0, \quad j = 2, 3, \dots, N \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T x_{ivv}^t - \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T x_{vjv}^t = 0, \quad v = 1, 2, \dots, V / p = 1, 2, \dots, N \quad (11)$$

$$\sum_{j=2}^N \sum_{t=1}^T x_{jv}^t \leq 1, \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^N q_i \left(\sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T x_{ijv}^t \right) \leq Q_v, \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (13)$$

$$\Phi_{jv} - \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (w_{iv} + MT_{ijt}) x_{ijv}^t + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T WT_{ijk} C_{ijk}^t x_{ijv}^t + \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T WT'_{ijl} B'_{ijl} z_{ijv}^t \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, N / v = 1, 2, \dots, V \quad (14)$$

$$w_{iv} - \Phi_{iv} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, N / v = 1, 2, \dots, V \quad (15)$$

$$\Phi_{1v} = ST_v, \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (16)$$

$$w_{iv} \leq U^t + B(1 - x_{ijv}^t), \quad \forall i, j, v / i \neq j$$

$$w_{iv} \geq U^{t-1} x_{ijv}^t, \quad \forall i, j, v / i \neq j \quad (17)$$

$$X_{ij} - \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T x_{ijv}^t = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N / j = 1, 2, \dots, N / i \neq j \quad (18)$$

$$\sum_{i \in R_i} \sum_{j \in R} X_{ij} \leq |R| - 1, \quad |R| \geq 2 \quad (19)$$

$$\begin{aligned} ST_v + \sum_{i=1}^N (w_{iv} - \phi_{iv}) \sum_{j=1}^T \sum_{l=1}^T x_{ijv}^l \\ + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^T MT_{ijvl} x_{ijv}^l + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^T \sum_{m=1}^T WT_{iklm} C_{ikl}^m v_{ijv}^l \\ + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^T \sum_{m=1}^T WT_{ijlm} B_{ijl}^m v_{ijv}^l \leq C_v, \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (20) \end{aligned}$$

식(7)은 각 시간대별 지점 간 이동시간과 각 시간대별 해당 신호 대기 간 지체 시간과 도로 합류로 인한 지체 시간의 합을 최소화 하는 목적식을 의미한다.

식 (8)은 한 수요 지점은 반드시 한대의 차량에 의해서 방문되어야 함을 의미한다. 식(9)와 식(10)은 신호 대기 지점과 병목 지점도 한 대의 차량에 의해서 방문되어야 함을 의미한다. 식(11)는 차량이 한 지점에 도착을 하면 반드시 다음 지점으로 이동을 함을 의미하고, 식(12)는 차고지의 차량들은 1회 이상 차고지를 떠나지 않음을 의미한다.

식(13)은 차량의 적재 용량의 제한을 식(14)은 차량 v 가 지점 j를 출발할 수 있는 가장 빠른 시각은 직전의 출발점인 지점 i에서의 출발시각에 구간(i, j)의 차량 이동 시간과 그 구간내의 신호대기와 병목으로 인한 지체시간의 합을 의미한다.

식(15)은 지점 i,에서의 출발시각은 그곳에서 출발가능 시점 이후가 됨을 뜻한다. 식(16)는 모든 차량의 차고지 출발시점을 설정하며, 식(17)은 지점 i의 출발시각에 해당하는 시간대 T를 정의한다. 식(18)은 구간 (i, j)가 하나의 차량경로에 포함되는 지의 여부를 나타내는 변수에 대한 관계식으로서 식(19)에서 사용된다.

식(19)는 차고지를 떠난 모든 차량을 반드시 차고지로 귀환시키기 위한 조건식으로 불법경로를 제거한다. 불법 경로란 차고지가 포함되어 있지 않은 경로를 말한다. 식 (20)은 차량 V가 모든 지점을 방문 후 정해진 시각 즉, 차고지 귀환 허용 시각 이전에 복귀해야 함을 의미한다.

4.3. 설정된 경로에 차량 할당

위에서 제시한 수리 모형을 이용하여 차량 용량이 무제한인 1대의 차량을 이용한 차량 경로를 생성한다. 생성된 경로를 기준으로 차량의 용량이 상이한 이 기준 차량에 대해 차량별 경로를 구성하기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 발견적 기법의 알고리즘을 이용하여 차량별 경로를 구성한다.

- 1대의 차량을 기준으로 차량 경로를 생성

- 용량이 가장 큰 차량으로 경로상의 지점을 할당 (V_1 의 경로를 설정)
- 미 할당된 지점들에 대해 차고지로부터 출발하여 복귀하는 경로를 생성
- 그 다음의 용량이 큰 차량으로 경로상의 지점을 할당 (V_2 의 경로를 생성)
- 모든 차량이 할당될 때까지 반복수행
- 차량에 할당되지 않은 잔여 지점들에 대해
 - 할당된 각 차량들의 잔여 용량을 만족 시 해당 차량에 우선적으로 추가
 - 불만족 시 V_i 의 경로 상 지점의 q_i 가 크고 순서상 후미의 지점과 교환
 - 교환 불가능 시 V_i 의 경로 상 마지막 지점과 잔여 지점과의 시간이 작은 순으로 V_i 에 할당
- 각각 상황을 고려 후 결과를 비교하여 최소값 선정

4.4. 유전 알고리즘의 적용

차량 경로 구성은 발견적 기법중의 하나인 Genetic Algorithm을 이용하여 해를 개선 시켰다.

유전 알고리즘 적용을 위한 유전자 표현은 2개의 string으로 이루어진 이중 구조로 설정하여, 이점간 이동 시 시간대에 따라 달라지는 이동시간을 반영할 수 있도록 하였다. 초기 모집단은 수요지점이 중복되지 않는 범위에서 랜덤하게 선택되었으며, 가장 좋은 개체부터 순위를 부여하여 선별확률을 부여하는 순위 선택 연산을 이용하였다. 또한 교차와 돌연변이 연산의 경우 가장 일반적인 교차연산인 일점교차 연산을 외관원 문제 및 차량 경로문제에 대해 많이 이용되고 있는 상호돌연변이 연산을 각각 이용하였다. 종료조건(stopping condition)은 주어진 최대에 도달하는 방법과 주어진 수행 시간동안 해의 개선이 없을 경우 등을 종료 조건으로 선정할 수 있는데, 본 연구에서는 수행 시간과 횟수로 해의 개선 여부를 판단하고 다시 해의 개선 여부가 있는 개체수에 대해서 횟수를 증가시켜 해의 여부를 판단하고 다시 해의 개선 여부가 있는 개체수에 대해서 수렴할 때까지 generation하였다.

5. 실험 및 결과분석

본 연구에서는 서울시 교통 통계 자료를 이용하여 도심지내의 지체 시간이 가장 많이 발생하는 종로구 지역 일대에 대한 실제 데이터를 이용하여 실험을 수행하였다.

표 7. 입력 자료

지점	지점 명	q_i
1	광화문우체국	0
2	삼정동 우체국	3
3	상명대학교	5
4	서울대병원	11
5	세검정우체국	6
6	송인동우체국	2
7	안국동우체국	6
8	원남동우체국	4
9	종로2가우체국	8
10	종로5가우체국	12
11	통의동우체국	17
12	혜화동우체국	3
13	성균관대학교	6
14	정부종합청사	8
15	방통대	7

종로구의 광화문 우체국을 차고지로 하여 차고지를 포함한 총 15개 지점의 우체국간 화물 운송을 실험 하였다. 입력을 위한 기본 사항은 표 7과 같다.

시간대는 각각 3개의 시간대로 지정하여 t=1(08:00~10:30), t=2(10:30~13:00), t=3(13:00~16:00)으로 구분하였다.

신호로 인한 지체 시간과 병목으로 인한 지체 시간을 추정한 데이터는 각각 다음의 표 7, 표 8, 그림 6과 같다.

표 8. 신호대기 지체 시간 추정 예

지점	종로3가	도로	종로
C(초)	120	g(초)	37
T(시간)	0.25	c	2200
S	2200	PF	0.95
시간대	t=1	t=2	t=3
V	2103	2161	2114
X	0.96	0.98	0.96
d1	40.70	41.18	40.79
d2	1.56	1.61	1.57
d	40.23	40.73	40.33

실험은 위와 같은 방법으로 각 지점 간, 시간대별 이동 시간과 지체 시간을 추정하여 4장의 수리 모형에 대입하여 차량 경로를 구성 하였다.

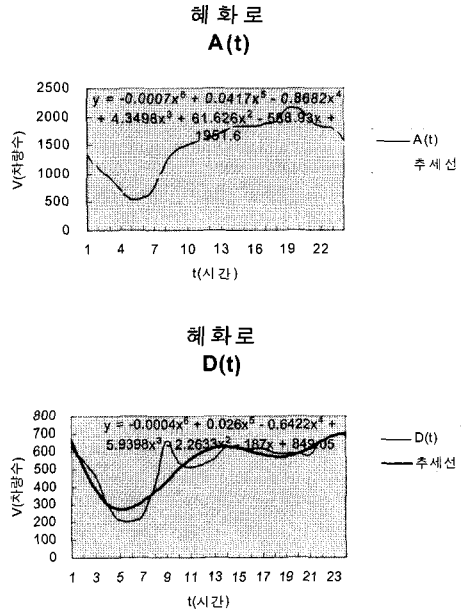


그림 6. 병목 대기 지체 시간 추정 예(해화로)

표 9. 병목 대기 지체 시간 추정 예(혜화로)

	$\int A(t)$	$\int D(t)$	$\int A(t) - \int D(t)$	d
t=1	3647	942.6	2604.04	185.33
t=2	4688	1853	2835.07	210.18
t=3	3958	368.5	3589.94	311.2

지체 시간을 고려한 방법과 지체 시간을 고려하지 않고 각각 경로를 구성한 방법, 기존의 발견적 기법인 NNS (Nearest Neighbor Search) 기법을 이용한 경로를 구성한 후 총 이동 시간을 비교 하였다. 지체 시간을 미 고려 후 경로를 먼저 생성한 문제는 설정된 경로 상에 지체 시간이 있으면 해당 시간의 지체 시간을 각각 합산하여 결과를 비교 하였다.

그 결과는 표 10과 같다. 표 10에서 보는 바와 같이 지체 시간을 고려한 상태에서 경로를 구성한 결과가 더 우수함을 알 수 있다. 뿐만 아니라 고려되는 노드의 수가 더욱 크다면 본 연구에서 제안하는 모형이 더욱 효율적임을 예상할 수 있다.

표 10의 내용은 용량이 무한대인 1대의 차량으로 구성된 경로이다. 차량의 용량이 상이한 이 기종 차량의 문제에 대해서는 4.3절에서 제시한 알고리즘을 이용하여 각 차량별 경로를 구성하였다. 각 차량의 용량은 V_1 이 50, V_2 가 30, V_3 가 20이다. 표 10의 세 가지 기법을 이용하

여 초기해를 생성한 후 각 차량별 경로를 구성한 결과는 다음의 표 11과 같다.

표 10. 지체 시간에 따른 차량 경로 및 이동 시간

NNS					지체 미 고려					지체고려							
시간대	시작	도착	이동 시간	지체 시간	시간대	시작	도착	이동 시간	지체 시간	시간대	시작	도착	이동 시간				
t=1	1	14	1088.1	0	t=1	1	11	1172.2	0	t=1	1	14	1088.1				
	14	11	1155.1	0		11	3	1702.4	121.5		14	11	1155.1				
	11	7	1292.8	0		3	5	1219.5	0		11	3	1823.9				
	7	8	1320.4	0		5	2	1693.5	151.6		3	5	1219.5				
	8	15	1151.1	423.0		2	7	1272.6	150.9		5	2	1845.1				
15	4	1134.4	0	7	13	139.6	0	2	7	67.9							
t=2	15	4	1171.4	0	t=2	7	13	1306.9	0	t=2	2	7	1647.1				
	4	12	1342.8	0		13	12	1349.7	336.2		7	13	1448.1				
	12	13	1349.7	336.2		12	4	1342.8	0		13	9	1797.6				
	13	10	1707.8	125.5		4	15	2203.8	0		9	6	2038.7				
	10	9	1478.1	201.6		15	6	855.3	325.8		6	10	185.5				
9	2	1608.4	177.4	15	6	430.9	107.3	6	10	1535.8							
t=3	9	2	1969.2	184	t=3	6	10	1524.8	192	t=3	10	8	1537.2				
	2	3	1762.5	145.2		10	14	1698.3	201.6		8	12	1463.0				
	3	5	1234.7	0		14	9	1433.4	0		12	4	1410.1				
	5	6	2891.1	389.2		9	8	1362.5	359.4		4	15	1205.0				
	6	1	2274.6	385.6		8	1	1709.0	368.9		15	1	2116.3				
총 이동시간					25298	총 이동시간					27603	총 이동시간					23585

표 11. 차량별 경로 및 총 이동시간

기법	차량	경로	총 이동 시간
NNS	v1	1-14-11-7-8-15-4-12-1	32388
	v2	1-9-2-3-5-13-1	
	v3	1-10-12-4-1	
	v3	1-4-6-1	
지체 미고려	v1	1-11-3-5-2-7-13-12-1	33456
	v2	1-10-6-15-1	
	v3	1-9-8-4-1	
	v3	1-4-14-1	
지체 고려	v1	1-14-11-3-5-2-7-1	31684
	v2	1-4-9-12-8-6-1	
	v3	1-13-15-1	
	v3	1-10-1	

6. 결 론

본 연구에서는 도심지내에서 발생하는 지체 시간을 고려한 차량 경로 문제를 제시하였다. 두 지점 간 실제 발생하는 신호 대기로 인한 지체 시간을 추정하기 위해 HCM 모형과 교통 통계 자료를 이용하였다. 그리고 병목 구간을 통과 시 발생하는 지체 시간을 추정하기 위해 해당 지

점의 누적 도착 및 출발 교통량을 이용하여 지체 시간을 추정하였다. 그리고 이 추정한 시간을 이용하여 전체 차량 경로를 구성하는 수리모형을 제시하고 Genetic Algorithm을 이용하여 해를 구하였다. 또한 차량의 용량이 서로 다른 이 기종 차량에 대한 각각의 경로를 구성하기 위해 발전적 기법의 알고리즘을 제시하여 차량별 경로를 구성하였다.

제시된 모형을 검증하기 위해 실제 교통 데이터를 이용하여 실험을 해 본 결과 지체 시간을 고려한 차량 경로 구성이 더 우수하고 더 현실적이라는 것을 알 수 있었다.

차후 연구사항으로는 신호 대기 간 발생하는 초과 지체를 고려한 대기 시간을 추정하고, 보다 많은 노드를 고려한 현실성 있는 연구가 반영되어야 하겠다.

참 고 문 헌

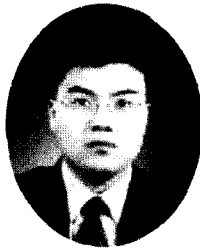
1. 건설교통부(2005) 도로용량편람.
2. 박창수(2003), “도시교통 운영론”.
3. 임강원, 임용택(2003), “교통망 분석론”.
4. 김성득, 박창수, 박원규(2001), “신호교차로 지체 및 서비스 수준 결정에 관한 연구”, 대한교통학회지, Vol. 21, No. 4, pp. 61-471.
5. 강재수(1998), “도로계획과 설계”.
6. 박양병(1998), “차량일정계획을 위한 도시 내 차량이동속도 추정모델에 대한 연구”, 산업공학(특집), Vol. 11, No. 1.
7. 하동익(1997), “신호교차로 지체체계 분석 방법론 연구”, 대한교통학회지, Vol. 14, No. 4.
8. 박양병(1997), “시간대 및 구역의존 차량이동속도를 고려하는 다목적 차량 일정문제 : 일정계획해법과 전문가시스템”, 대한산업공학학회지, Vol. 23, No. 4.
9. 박양병, 송성현(1996), “구역 및 시간의존 차량스케줄링문제 : 차량속도 추정모델과 차량 스케줄링 해법”, 대한산업공학학회지, Vol. 22, No. 3, pp. 517-532.
10. C. Malandraki and M.S. Daskin(1992) “Time Dependent Vehicle Routing Problems: Formulation, Properties and Heuristic Algorithms”, Transportation Science, Vol. 26, No. 3, pp. 185-200.
11. V. Hill and W.C. Benton(1992), “Modeling Intra-City Time-Dependent Travel Speeds for Vehicle Scheduling Problems”, Journal of Operational Research Society, Vol. 43, No. 4, pp. 343-351.



윤 태 식 (yuntae76@hanmail.net)

1999년 육군사관학교 토목공학과 학사
2005년~현재 연세대학교 정보산업공학과 석사과정

관심분야 : 시뮬레이션 모델링, SCM, Meta-Heuristic



정 석 재 (jae7811@yonsei.ac.kr)

2002년 한국해양대학교 물류시스템공학과 학사
2002년 연세대학교 정보산업공학과 석사
2004년~현재 연세대학교 정보산업공학과 박사과정

관심분야 : 시뮬레이션 모델링 및 분석, SCM, Reverse logistics



김 경 섭 (kyungkim@yonsei.ac.kr)

1982년 연세대학교 기계공학과 학사
1986년 University of Nebraska-Lincoln 산업공학과 석사
1993년 North Carolina State University 산업공학과 박사
1994년~1995년 삼성테이타시스템 선임연구원
1995년~2004년 연세대학교 정보산업공학과 부교수
2004년~현재 연세대학교 정보산업공학과 교수

관심분야 : 물류시뮬레이션, 시뮬레이션 모델링 및 분석, SCM