

패널티와 밀집형태의 배송지점을 활용한 효율적 차량경로 탐색 알고리즘의 개발

문기주^{1*} · 허지희¹

Development of an Efficient Vehicle Routing Heuristic using Closely Located Delivery Points and Penalties

Gee-Ju Moon · Ji-Hee Hur

ABSTRACT

Travel time between two points depends upon whether it is a rush hour or not in metropolitan area. It is true that there is big differences on the time required to get through the area whether going in busy morning or near noon. Another issue is that there exist many delivery points which closely located each other; so no need to consider traveling hours among these points. We designed an efficient procedure to reduce the complexity by considering closely located delivery points as one big delivery point. A computer simulation model is constructed for comparison purposes of the developed heuristic with the optimum solution.

Key words : VRP(vehicle routing problem), VSP(vehicle scheduling problem), time window, travel speed, penalty

요약

도시에서 수요지점간을 이동하는데 걸리는 시간은 출퇴근시간 및 낮시간대와 같이 시간대에 따라 차이가 발생한다. 또한 배송 경로 중 특정구간에는 아파트나 학교, 기업 등과 같이 배송점이 밀집되어 있어 차량이 이동속도에 영향을 받지 않는 수요지점들이 포함되어있다. 그러나 기존의 차량경로 문제에서는 이러한 차량의 이동속도에 시간대에 따라 정체현상 등을 감안하거나 밀집되어있는 수요지점의 특성 또한 고려되지 않고 있다. 이 밀집지점들의 특성을 파악하여 한 개의 큰 배송점으로 처리하면 고려해야할 배송지점의 수를 대폭 축소할 수 있다. 이러한 점에 착안하여 본 연구에서는 시간대에 따라 수요지점간 이동속도가 달라지는 동적인 환경을 고려하되, 밀집지역을 고려한 차량경로를 구성하는 효율적인 알고리즘을 개발하였다. 개발된 해법은 최적해와 컴퓨터시물레이션 모형을 구축하여 최적해와 비교해 봄으로써 그 수행도를 평가하였다.

주요어 : 차량경로문제, 차량일정계획, 시간대, 밀집형태, 이동속도, 패널티(penalty)

1. 서론

기업의 물류비용을 절감하기 위한 방안으로 차량이동시간의 단축을 위한 차량일정계획 문제들이 활발히 연구되고 있다. 기존의 연구들은 차량의 이동거리 최소화에 초점이 맞춰져 있으며, 차량의 이동속도가 이동지점이나 도로상황에 관계없이 항상 일정한 것으로 가정하고 있어 두

지점간의 이동소요시간은 항상 이동거리에 비례하게 되지만, 현실에서의 도시 내 상황을 살펴보면 이러한 가정이 적합하지 않다는 것을 알 수 있다. 그러나 이와 같은 시간대에 따른 차량의 이동속도와 수요지점의 위치상의 특성을 함께 고려한 연구는 찾아보기 어렵다. 특히 수요지점의 위치상의 특성을 살펴보면, 아파트단지과 도시 내에 위치한 공장, 대형빌딩, 학교 등과 같이 수요지가 밀집되어 있어 차량의 이동속도에 영향을 받지 않는 수요지점이 많이 존재한다. 이러한 경우, 개별 수요지점에 대해 차량의 이동속도를 고려하여 차량경로를 탐색하게 되면, 탐색해야 하는 배송경로의 수가 늘어날 뿐만 아니라 이동시간을 최소화하고자 하는 목적과도 거리가 먼 해를 도출할 가능성

2007년 5월 23일 접수, 2007년 7월 2일 채택

¹⁾ 동아대학교 산업경영공학과

주 저자: 허지희

교신저자: 문기주

E-mail: gjmoon@dau.ac.kr

이 높다.

이에 본 연구에서는 이동속도를 고려한 차량경로문제에 대하여 고찰하고, 도시 내에서 시간대별, 구간별 이동소요 시간값의 손실에 대한 패널티(penalty)를 구해 이동시간의 손실을 최소화하는 방안을 모색하고자 한다. 특히 밀집지역을 포함하는 문제를 다루어 수요지점의 특성을 고려하여 경로를 형성함으로써 보다 효율적인 해의 탐색 방법을 제안하고자 한다.

2. 연구동향

최근 VRP(Vehicle Routing Problem)의 관련연구들은 시간대(Time Window) 제약을 가지는 VRP문제를 다루는 VRPTW(VRP with Time Window)와 차량용량이 동일한 경우 비용을 최소화하는 문제를 다루는 CVRP(Capacitated VRP), 중앙창고(depot)가 여러 개 있는 문제를 다루는 MDVRP(Multi Depot VRP), 이기종 차량군을 가지는 문제를 다루는 FSMVRP(Fleet Size and Vehicle Mix VRP) 등으로 연구가 진행되고 있다.

배송 차량이 각 배송지를 순회하는 최적의 배송경로를 정하는 문제인 VRP(Vehicle Routing Problem)의 표준 형태는 Dantzig와 Ramser(1959)가 LP(Linear Programming)를 이용한 발전적 해법을 개발하여 문제해결을 시도한 것을 시작으로 하여, Hill과 Benton(1992)은 차량이동속도를 고려한 연구를 수행하였고, 이 연구에서 시간에 종속적인 이동속도를 가지는 차량 스케줄링 모형들에서 발생하는 데이터 수집과 저장문제들을 완화시켜주는 절약형 모형과 시간에 종속적인 이동속도에 대한 알고리즘을 제안하였으나, 정확성에 대한 문제를 해결하지 못하는 단점을 가져왔다.

Malandraki와 Daskin(1992)은 두 지역들간의 이동에 있어서 이동소요시간이 하루 동안 두 곳 또는 세 곳의 시간 구간에서 이산적으로 변화한다고 가정을 한 경우의 차량경로 문제에 대해 Nearest-Neighbor Search와 Cutting Planes를 이용한 휴리스틱을 개발하였으나 차량의 이동속도가 시간구간 내에서는 일정하다고 가정하는 한계를 벗어나지 못하고 있다. Malmberg(1996)는 고객에 대한 서비스수준을 만족시키기 위한 방법으로 고객 대기시간에 대한 기준에 따른 차량일정계획문제를 해결하기 위해 유전자알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하여 그 중요성을 평가하였으며, 문제해결을 위해 2단계 유전자 알고리즘에 대한 설계를 하였다. Park과 Hong(1998)은 이동속도의 자료수집과 DB구축에 따른 부담을 덜기 위한 방안으로 출

발시각에 따른 지점간 평균이동속도를 추정하는 세 가지 모형을 제안하였으나 평균이동속도 또한 차량의 이동속도가 시간대에 따라 변화하는 동적인 환경을 반영하지는 못하고 있다. Park(2000)은 시간과 구역에 종속적인 이동속도를 가지는 차량일정계획문제에 대한 효율적인 해를 구할 수 있는 방법으로 차량 총 이동소요시간의 최소화과 차량이 정확한 시간에 도착하지 못하는 지연을 최소화하는 두 가지 목적을 만족 할 수 있는 BC-saving(bicriteria-saving) 알고리즘을 제안하였다.

본 연구에서는 정체현상 등으로 차량의 이동속도가 시간대에 따라 달라지는 동적인 환경에 대한 고려와 수요지점의 분포 형태가 특정구간에서는 아파트나 관공서, 학교, 기업체 등과 같이 특정 구역 내로 진입한 이후에는 차량의 이동속도가 차량의 혼잡이나 정체 현상, 이동 시간대 등에 영향을 받지 않는 수요지점의 밀집되어 있는 특성을 고려하였다. 밀집지점들의 특성을 파악하여 한 개의 큰 배송점으로 처리하면 고려해야할 배송지점의 수를 대폭 축소 할 수 있고, 시간대에 따른 이동속도의 변화도 고려하여 수요지점에서 갈수 있는 경로에 대해 시간대별 이동속도를 반영한 각 이동경로에서 최소이동시간으로 가지 못하는 경우에 대한 손실 패널티를 계산하여, 각 지점별로 손실 패널티가 최소가 되는 경로를 구성하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

3. 모형정의

본 연구에서는 밀집지역을 포함하는 수요지점들에 대해 시간대에 따라 차량의 이동속도가 다르게 나타나는 시간종속 하에서의 차량경로문제를 다루고자 한다. 이 모형에서는 단일의 본점과 $(N-1)$ 개의 수요지점이 있으며, 수요지점의 수요량은 이미 알려져 있다. 한 대의 차량으로 수요를 충족할 수 있으며, 차량의 운행거리(시간)에는 제한이 있을 수 있다.

모형의 기본가정과 기호정의는 다음과 같다.

- 배송차량은 본점을 출발하여 해당 구역 내의 모든 지점들을 한 번씩만 방문한 후 반드시 본점으로 돌아온다.
- 모든 수요지점의 수요량은 차량의 적재용량을 넘지 않으며, 각각의 차량경로에 포함된 수요지점에 대한 수요량의 합은 차량의 적재용량을 초과할 수 없다.
- 각 수요지간 이동시간은 시간대에 따른 차량의 이동속도와 정체 등에 따라 다르게 나타난다.

- 수요지점에는 밀집된 하나 이상의 수요지점들이 포함되어 있다.
- 수요지점들에 대한 전달시간이 존재한다.
- 밀집형태의 배송지는 아파트단지 내와 같이 배송지점들이 근접해 있고, 차량의 이동속도가 시간대의 영향을 받지 않는 곳, 동일 건물 내의 여러 부서 등과 같이 차량의 이동이 없이 배송 가능한 여러 지점을 의미한다.

기호정의 :

- N : 수요지점 개수
- t_{ijw} : 차량이 특정 시간대에 수요지점 i 와 j 를 운행하는데 소요 되는 시간($i = j = 0$ 이면 본점, $w =$ 이동시간대)
- x_{ijw} : 차량이 특정시간대(m)에 수요지점 i 에서 j 로 이동하면 '1', 아니면 '0'
- p_i : 수요지점 i 의 순환경로상 방문순서
- α_{ijw} : 수요지점 i 와 j 사이를 두 가지 시간대에 걸쳐서 이동하는 경우 시간대 w 하에서의 이동거리의 비율(예: 시간대 w 에 i 와 j 사이 거리를 모두 이동시 $\alpha=1$. 만약 30%만 시간대 w 에 이동하고 70%는 다음 시간대에 이동하게 되면 $\alpha=0.3$ 이 됨)
- m : 밀집지역 개수
- k : 밀집지역 번호
- G : 밀집지역 k 내의 배송지점 수
- S : 밀집지역내에서 고객에게 제품을 전달하는데 소요되는 평균시간

$$\min \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \alpha_{ijw} (t_{ijw} x_{ijw}) + \sum_{k=1}^m G_k \cdot S \quad (1)$$

subject to :

$$\sum_{i=0}^N \alpha_{ijw} \cdot x_{ijw} = 1 \quad \forall j, w \quad (2)$$

and $i \neq j, 0 \leq \alpha \leq 1$

$$p_i - p_j + N x_{ijw} \leq N - 1; \quad \text{for } i \neq j, \quad \forall i, j, w \quad (3)$$

$$x_{ijm} \in \{ 0, 1 \} \quad \text{for } \forall i, j, m \quad (4)$$

식 (1)은 차량주행거리(시간)의 최소화를 목적식으로 한다. 이때 거리(시간)는 비용과 일대일 대응이 되므로 차량주행비용을 최소화하는 목적식이 된다. 여기에서 밀집지역에 관련된 소요시간을 나타내는 $G \cdot S$ 는 의사결정에 관

련 없는 상수이기는 하나 전체 배송비에 영향을 미치고 또 밀집형태를 고려하지 않는 해법과의 비교를 위해 표시하였다.

식 (2)는 한 대의 차량에 의해서 각 수요지점을 한번만 방문해야 한다는 제약식이며, 식 (3)은 전체 경로상에 구성 될 수 있는 부분경로를 제거하기위한 식이다. 식 (4)는 0, 1 정수조건으로 차량이 시간대 m 에 구간 i 와 j 에 할당 되면 1이고, 그 외는 0으로 나타나게 된다.

4. 밀집형태의 배송지점을 고려한 차량경로 탐색 알고리즘

차량경로 선정 시 밀집형태의 배송지역 내에 분포하는 여러 곳의 배송지점에 대해 배송을 하므로 공급자가 배송지역에 도착한 후에도 고객이 제품을 수취하기까지 소요시간이 발생하게 되는데, 이를 전달시간 혹은 서비스 시간이라 한다. 이는 밀집형태의 배송지역 내에서만 소요되는 시간이 아니라, 그 외 지역에서도 제품을 수취하기까지 시간이 소요되므로 모든 수요지점에 대해 수취시간을 고려한다. 단, 이동경로 선정 시 시간대 영향을 받지 않는 밀집형태의 배송지점들을 그룹화하여, 하나의 지점으로 고려해 경로를 구성하게 되는데, 이때 밀집지역에 포함되어 있는 수요지점의 이동시간값은 밀집지역내의 지점들이 가지는 이동시간값의 평균과 밀집지역내 수요지점들의 전달시간을 모두 합한 값을 이 구간의 이동시간값으로 한다. 밀집지역내 지점들의 이동경로는 시간대에 따른 이동속도에 변화가 없으므로 이동하는 시점에서 가장 가까운 순서대로 방문하여 경로를 구성하는 것으로 한다. 이렇게 밀집지역으로 설정하여 문제의 크기를 단순화하였으나 밀집지역의 종류를 구분하여 배송의 평균값을 적용하므로써 해의 품질이 나빠지지는 않도록 하였다.

본 해법은 각 지점에서 갈 수 있는 지점별·시간대별 값 중 최소값을 찾고, 각 지점에서 갈 수 있는 지점별·시간대별 이동시간값과 이 최소값과의 차를 구한다. 이 값은 임의의 경로가 선정되었을 때, 최소이동시간값으로 경로를 구성하지 못하는 것에 대한 각 지점에서의 손실값으로 이를 이동시간값에 대한 손실 패널티라고 한다. 이러한 패널티값을 서로 비교하여 경로선정 시 발생하는 손실 패널티값을 최소화 하는 경로를 구성하여 이동시간이 최소가 되는 경로를 구성하고자 한다.

패널티를 비교해 경로를 구성시 현 시점에서 이동가능한 경로들 중 패널티가 최소인 경로를 선택하는 1단계탐

색법이 아니라, 그 최소값을 가지는 경로에서 갈 수 있는 다음단계에 대한 패널티까지 고려하여 그 값이 가장 최소가 되는 경로를 선정한다.

그림 1에서 본점에서 갈 수 있는 경로 중 패널티가 최소인 지점을 일반적인 해법에서와 같이 단계 1의 범위만을 고려하여 선택한다면 격자무늬지점이 다음 경로로 선정이 되겠지만, 본 연구에서는 현시점의 경로를 선정하는 것이 아니라, 단계 2의 범위까지 한 단계 더 진행해 패널티를 계산한 후, 그 중 최소값을 가지는 지점이 사선무늬라 할 때 사선무늬 지점의 선행단계(단계 1)를 선택하여 경로를 구성한다는 것이다. 이는 두 단계 앞을 미리 내다보고 그때의 패널티의 합이 최소가 되는 경로를 탐색하는 방법으로, 경로선정시 이동소요시간 값의 손실을 최소로 줄여 경로의 총 이동소요시간 값을 최소화시킬 뿐 아니라, 현실에서 오전시간대에는 이동시간값이 적은 구간이 오후가 되면서 차량통행량 증가 등의 이유로 정체현상 등이 발생해 이동시간값이 커지는 경우와 같이 시간대에 따라 차량의 이동속도가 달라지는 동적인 환경하에서의 문제에 보다 현실적인 차량경로를 구성할 수 있을 것으로 본다.

이렇게 선정된 경로에 대한 차량의 총이동시간의 계산은 각 경로가 선정될 시점의 시간대에 해당되는 차량의 이동시간값을 누적합산하고, 시간대가 오전-낮, 낮-오후로 변경이 발생할 때에는 각 시간대에 이동한 거리의 비율만큼을 계산하여, 각 시간대에 해당하는 값을 합한 값을 그 구간에서 이동시간값으로 한다.

예를 들어, 지점*i*에서 지점*j*로 이동하는 중에 오전시간대(M)에서 두 지점 *i*, *j*간의 거리 중 20%를 이동(α)하였고, 낮 시간대(N)에 두 지점간의 거리의 80%를 이동($1-\alpha$)하였다고 하자. 그러면 이동시간의 계산은 오전시간대에 이동한 거리는 그때의 이동속도를 반영하여, 오전시간대의 이동 시간값의 20%에 해당하는 값($0.2t_{ijM}$)을 가지고, 낮시간대에 이동한 거리는 낮시간대의 이동속도를 반영하

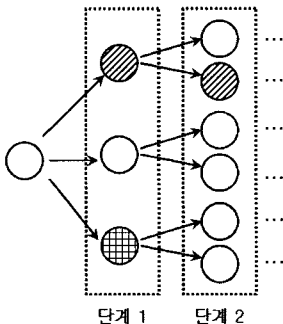


그림 1. 패널티를 이용한 경로선정 방법

여 낮시간대의 이동시간값의 80%에 대한 값($0.8t_{ijN}$)을 가진다. 그러므로 이 두값을 합한 값이 두 지점을 이동하는데 걸린 시간이 된다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_{ij(MN)} = \alpha t_{ijM} + (1 - \alpha)t_{ijN} \quad (5)$$

여기서 $t_{ij(MN)}$ 은 시간대 M과 시간대 N에서 차량이 지점 *i*에서 *j*이동하는데 걸리는 시간이다. 그리고, α 는 *i*에서 *j*까지의 거리를 1이라고 할 경우, 시간대 M동안에 *i*에서 출발하여 이동한 거리의 정도를 나타내며, 이 값은 0에서 1 사이의 값을 가진다. 그러므로 αt_{ijM} 은 시간대 M의 지점 *i*에서 출발하여 α 만큼의 거리를 이동한 시간을 나타낸다. $(1-\alpha)t_{ijN}$ 은 시간대 N동안 앞의 시간대 M이 끝나는 시점까지 이동한 거리에서부터 지점 *j*까지의 이동하는데 걸리는 이동시간을 나타낸다. $(1-\alpha)$ 는 앞의 시간대 M이 종료되는 시점까지 이동한 지점부터 지점 *j*까지의 이동하는 거리의 비율값을 나타낸다. $(1-\alpha)$ 도 0에서 1사이의 값을 가진다. 제안된 알고리즘을 흐름도로 나타내면 그림 2와 같다.

5. 수치예제

보다 자세한 설명을 위해 다음의 간단한 수치예제를 사

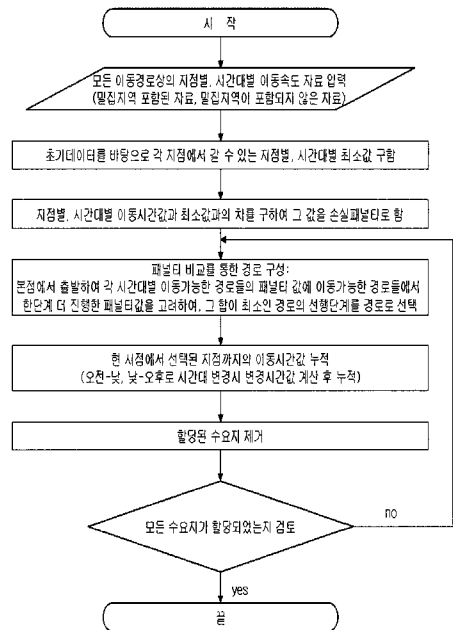


그림 2. 제안알고리즘의 흐름도

용한다. 표 1은 밀집지역을 포함한다고 가정하여 본점을 포함해 5개의 수요지점으로 이루어진 수치예제이다. 표에서 1, 2, 3, 4, 5는 이 수요지점들을 나타낸다.

패널티를 계산하기 이전에 불필요한 데이터들을 우선 제거한다. 본점인 지점1은 오전시간대에 출발지가 되기 때문에 낮시간대와 오후시간대에는 이동이 가능하지 않게 되므로 지점1이 출발지가 되는 낮시간대와 오후시간대에는 이동이 가능하지 않게 되므로 지점1이 출발지가 되는 낮시간대와 오후시간대의 이동소요시간값은 제거된다. 마찬가지로 지점1은 오후시간대의 도착지가 되기 때문에 오전시간대와 낮시간대의 이동소요시간값은 제거 된다.

이와 같은 방법으로 불필요한 이동소요시간값들을 제거하면, 실질적으로 경로 선정에 영향을 미치는 이동소요시간값은 표 2와 같다.

다음 단계는 각 지점이 출발지가 되었을 때 이동가능한 모든 도착지점의 이동소요시간값 중 가장 작은 이동소요시간값을 구하는 것이다. 여기서 선정 되어진 최소의 이동소요시간값은 각 지점이 출발지가 되어 이동가능한 모든 도착지점을 이동할 때 가장 작은 이동소요시간으로 이동할 수 있는 경로의 이동소요시간값을 의미한다. 이와 마찬가지로 각 지점이 도착지가 되었을 때 이동가능한 모든 출발지점의 이동소요시간값 중 가장 작은 이동소요시간값을 구한다. 여기서 선정되어진 최소의 이동소요시간값도 마찬가지로 각 지점이 도착지가 되어 이동가능한 모든 도착지점을 이동할 때 가장 작은 이동소요시간으로 이동할 수 있는 경로의 이동소요시간값을 의미한다.

이렇게 구하여진 최소이동소요시간값을 이용하여 다음 단계에서는 구간별·시간대별 패널티를 구한다. 패널티를 산출하는 방법을 수치예제로 설명하면, 지점2에서 3으로 오전시간대에 이동하는 경로 2→3을 선택한다고 할 때, 경로 2→3의 이동소요시간값은 8173초가 되며, 지점2는 경로 선정 시 더 이상 출발지로는 선택될 수 없으며, 동시에 지점3도 경로 선정시 더 이상 도착지로는 선택될 수 없게 되고, 마찬가지로 경로 3→2도 선택될 수 없게 된다. 이렇게 하나의 경로가 선정됨으로서 발생하는 제약을 고려하기 위해 표 3에서의 최소이동소요시간값을 고려하여 패널티를 산출한다. 패널티값은 표 4와 같다.

패널티를 산출하여 경로선정시 현시점에서 가장 최소인 지점을 선정 한 후, 시간대 변경의 영향을 수용하기 위해 한 단계 더 진행한 경로의 패널티까지 고려한다.

위의 수치예제를 통해 설명하자면, 출발지점인 지점1에서 패널티가 가장 최소인 경로를 선정한다고 하면, 지점 2간 선택이 되겠지만, 한 단계 더 진행해 보면 1→2→3는 3594초, 1→2→4는 3115초, 1→2→5는 2879초, 1→3→2는 2794초, 1→3→4는 2930초, 1→3→5는 3596초, 이와 같은 방법으로 1→5→4의 경로 3692초 까지 계산한 값을 비교해 보면, 1→3→2의 경로 2794초가 가장 최소값이 된다. 이 경로를 모두 채택하는 것이 아니라 마지막 구간인 2의 선행 단계인 지점3만을 경로선정에 추가하여 이동시간값을 누적한 후 3에서 갈 수 있는 경로들에 대해 앞의 과정을 반복해 보면, 1→3→2→4는 5909초, 1

표 1. 수치예제: 기본데이터

		1	2	3	4	5
1	M		6001	7015	7697	7579
	N		4103	5113	4880	4436
	E		8867	8636	8319	7315
2	M	8549		8173	7694	7458
	N	4547		5246	5530	5679
	E	8332		7304	8819	8610
3	M	7335	6432		6568	7234
	N	4189	5061		4652	5864
	E	6165	7139		7891	7013
4	M	8789	6932	8787		7090
	N	4883	4579	5989		5349
	E	7141	6507	6792		7283
5	M	7101	8109	7489	7460	
	N	4593	5346	5879	5812	
	E	7344	8421	7596	7563	

표 2. 수치예제: 출·도착구간을 고려한 지점별·시간대별 이동소요시간값

		1	2	3	4	5
1	M		6001	7015	7697	7579
	N					
	E					
2	M			8173	7694	7458
	N			5246	5530	5679
	E	8332		7304	8819	8610
3	M		6432		6568	7234
	N		5061		4652	5864
	E	6165	7139		7891	7013
4	M		6932	8787		7090
	N		4579	5989		5349
	E	7141	6507	6792		7283
5	M		8109	7489	7460	
	N		5346	5879	5812	
	E	7344	8421	7596	7563	

→3→2→5는 5673초, 1→3→4→2는 5283초, 1→3→4→5는 5441초, 1→3→5→2는 6359초, 1→3→5→4는 5710초가 되어 최소값을 1→3→4→2의 마지막 구간인 2의 선행단계인 지점 4를 경로에 추가하여, 이동시간값을 계산하게 된다. 1→3→4의 시간값을 누적해 보면 13583초로 오전시간대(09:00-12:00)를 벗어나게 되어, 시간대가 오전-낮 두 가지 시간대에 걸쳐게 되므로 시간대 변경에 고려해 계산한 값을 1→3의 이동시간값에 누적해 해야

표 3. 수치예제: 지점별·시간대별 최소이동소요시간값 탐색

		1	2	3	4	5	min
1	M		6001	7015	7697	7579	6001
	N						
	E						
2	M			8173	7694	7458	5246
	N			5246	5530	8541	
	E	8332		7304	8819	7610	
3	M		6432		6568	7234	4652
	N		5061		4652	5864	
	E	6165	7139		7891	7013	
4	M		6932	8787		7090	4579
	N		4579	5989		5349	
	E	7141	6507	6792		7283	
5	M		8109	7489	7460		5346
	N		5346	6413	5976		
	E	7344	8421	7596	7563		
min		6165	4579	5246	4652	5349	

표 4. 수치예제: 지점별·시간대별 손실 패널티 계산

		1	2	3	4	5	min
1	M		0	1014	1696	1578	6001
	N						
	E						
2	M			3594	3115	2879	5246
	N			667	951	3962	
	E	3753		2725	4240	3031	
3	M		1780		1916	2582	4652
	N		409		0	1212	
	E	1513	2487		3239	2361	
4	M		2353	4208		2511	4579
	N		0	1410		770	
	E	2562	1928	2213		2704	
5	M		2763	2143	2114		5346
	N		0	1067	630		
	E	1998	3075	2250	2217		
min		6165	4579	5246	4652	5349	

한다. 이 과정을 계산해 보면, 3→4로 이동하는데 걸리는 시간은 오전시간대의 이동한 비율인 $\alpha=0.58$, 오전시간대의 이동시간값이 6568초로 두 값을 곱한 값이 3809.44초, 낮시간대는 $(1-\alpha)=0.42$ 에 낮시간대의 이동시간값 4652초를 곱한 값이 1953.84로 두 값을 더한 값인 5763.28초가 1→3의 이동시간값인 7015초에 누적하게 된다. 그러면, 1→3→4까지의 이동시간값은 12778.28초가 된다. 이동 중 낮(12:00-16:00)-오후(16:00-20:00)로 두 가지 시간대에 걸쳐 이동하는 경우에도 위와 같은 방법으로 이동시간값을 계산한다.

이러한 계산과정을 모든 경로가 선정될 때까지 반복하여 수행해 보면, 제안해법에 의한 경로는 1→3→4→2→5가 되고, 이때의 총이동시간은 26374초가 된다. 이값은 최단거리인접점으로 구한 경로 1→2→5→4→3일때의 총이동시간인 27156.2보다 782.2초만큼 총이동시간값이 줄어드는 결과를 가져온다.

이와 같이 제안해법의 알고리즘은 현실에서 오전시간대에는 차량 소통이 원활하다가 낮시간이 되면서 정체가 발생한다거나 그와 상반되는 지역 등과 같이 시간대에 따라 차량이동시간이 변화하는 동적인 환경에 적합한 해법이라 볼 수 있다.

6. 제안해법의 수행도 평가

6.1 실험방법의 설계

본 연구에서 제시한 알고리즘의 탐색경로에 대한 결과를 알아보기 위하여 J-빌더를 사용하여 프로그램을 작성하였고, Pentium IV 환경에서 수치실험을 실행하였다. 실행 화면은 그림 3과 같다.

수치실험은 본점을 포함하여, 밀집지역을 포함하는 경우에는 밀집지역내에 5개의 지점이 포함된다고 가정하여,

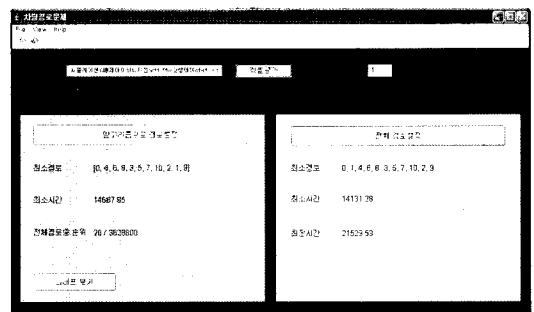


그림 3. 실행화면

5개의 지점을 하나의 그룹으로 묶어 지점수 총11개로 구성된 문제를 사용하고, 밀집지역을 포함하지 않는 경우에는 지점수가 15개인 문제를 사용하여 각각 본 연구에서 제안한 알고리즘을 이용해 각 지점을 방문한 후 창고로 돌아오는 차량경로를 구하는 실험을 각각 30회 반복 수행하였다.

각 수요지점은 서울시 교통자료에 있는 도로상에 존재하는 지점들 중에서 임의로 선정하였다. 각 지점별로 시간대를 오전(M: 09:00-12:00), 낮(N:12:00-16:00), 오후(E:16:00-20:00)의 세 가지 시간대로 구분하여 차량의 이동속도를 나타내고, 시간대별로 지점간 이동시간을 계산하였다.

각 시간대에 따른 이동속도의 변화와 이동속도에 영향을 받지 않는 밀집지역의 특성을 나타내는 것에 주안점을 두고 있으므로, 차량대수는 1대, 차량의 용량에는 제한이 없는 것으로 가정을 한다. 차량은 모든 수요지점을 방문한 다음 정해진 시간 내에 반드시 창고로 귀환하는 것으로 하고, 경로를 구성할 때 차량은 각 고객들을 반드시 한번만 방문 하는 것으로 한다.

본 연구에서 제시한 알고리즘의 수행도는 전체의 가능한 경로 즉, 밀집지역을 포함한 경우에는 10!, 밀집지역을 포함하지 않는 경우에는 14!의 경우를 모두 구해 제안해법의 결과와 비교함으로써, 어느 정도로 좋은 수준의 해가 얻어지는지를 알 수 있기 때문에 수치예제별로 가능한 모든 경로에 대한 최소이동소요시간값을 가지는 경로와의 비교를 통해 나타내었다. 또한, 밀집지역을 포함하는 경우와 밀집지역을 포함하지 않는 경우의 차량 경로의 총이동시간값을 비교하여 제안 알고리즘의 우수성을 보이고자 한다.

6.2 시뮬레이션 분석 및 평가

수행도 비교는 전체의 가능한 경로를 모두 구해 하나의 예제 문제당 구성 가능한 모든 경우에 대한 최소 이동소요시간 값을 가지는 경로와의 비교를 표 5에 나타내었고, 제안해법을 통한 차량경로에 대한 이동시간값과 차량경로의 모든 경우 중 최단시간값을 비교하여 그림 4에 나타내었다.

본 연구에서 제안한 휴리스틱의 수행도 평가를 위해 제안된 휴리스틱으로 얻어진 경로의 이동소요시간값과 전체 경우의 수인 11!(3,628,800)개의 경로들에서 나온 이동소요시간 값 중 최단이동소요시간 값과 비교하기 위해 최단이동소요시간 값에 대한 두 값의 차이 비율을 계산하여, 추가소요시간비율로 나타내었다. 또 얻어진 이동소요시간 값이 전체 3,628,800개의 경우 중 몇 번째로 우수한 해인가를 순위로 나타내어, 제안 해법이 최적해에 가까운 근

사해임을 보였다. 추가소요시간비율은 [(제안해법의 소요시간 - 최단소요시간) / 최단소요시간]으로 계산한 것이다. 이 추가소요시간비율의 총 평균은 0.0363으로 얻어졌으며 백분율은 0.00002%가 된다. 본 해법으로 구한 해가 최적해보다 0.00002% 정도 긴 이동소요시간이 소요되지만, 최적해에 가까운 좋은 근사해를 도출한다는 것을 보여준다.

또한 밀집지역의 경우 하나의 지점으로 고려하여 계산함으로써 수요지점의 특성을 고려하지 않고 모든 경로를 구성하는 경우보다 고려해야하는 지점의 수가 대폭 줄어들게 되는 장점을 가져온다.

제안해법의 유효성을 검증하기 위해 minitab 14버전을 이용해 분석한 결과를 그림 5와 그림 6에 도시하였다. 그림 4는 밀집지역을 포함한 수치예제 30가지의 결과값이 정규분포에 잘 적합되는지를 알아본 결과이다. 유의수준 5%일 때 P-값 0.691이므로 정규분포에 잘 적합됨을 보이고 있다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 제안 알고리즘이 수치예제 30가지의 경우뿐만 아니라, 일반적인 문제에 적용

표 5. 수치예제에 대한 결과값

시예 번호	제안해법 소요시간	최단시간	(제안해법-최단시간)/최단시간	회랑시간	순위	백분율
1	14668.0	14131.3	0.04	21529.5	26 / 3628800	0.0007%
2	15082.4	15205.2	0	22711.4	1 / 3628800	0.0000%
3	15736.4	14758.9	0.07	22308.0	450 / 3628800	0.0124%
4	15203.8	14750.6	0.03	22708.5	16 / 3628800	0.0004%
5	15042.2	14469.3	0.04	21421.8	33 / 3628800	0.0009%
6	16820.5	15965.8	0.05	23491.2	142 / 3628800	0.039%
7	16961.9	17108.9	0	24762.5	1 / 3628800	0.0000%
8	16572.6	15765.7	0.05	23476.4	167 / 3628800	0.0046%
9	16384.7	15811.5	0.04	23969.9	13 / 3628800	0.0004%
10	16407.0	15770.4	0.04	22845.8	37 / 3628800	0.010%
11	16058.5	15048.5	0.07	22533.2	277 / 3628800	0.076%
12	16428.9	16484.3	0	24071.0	1 / 3628800	0.0000%
13	16893.4	16178.6	0.04	23873.0	109 / 3628800	0.030%
14	15727.9	15205.4	0.03	23223.7	20 / 3628800	0.0006%
15	14749.2	14201.2	0.04	21104.5	34 / 3628800	0.0009%
16	14668.0	14131.3	0.04	21529.5	26 / 3628800	0.0007%
17	15295.5	15424.7	0	22915.9	1 / 3628800	0.0000%
18	15941.3	15120.7	0.05	22729.9	208 / 3628800	0.0057%
19	15809.8	15255.8	0.04	23180.9	25 / 3628800	0.0007%
20	15201.8	14601.7	0.04	21601.8	33 / 3628800	0.0009%
21	16105.4	15113.6	0.07	22564.3	266 / 3628800	0.0073%
22	17604.4	17886.9	0	25741.1	1 / 3628800	0.0000%
23	17193.8	16428.5	0.05	24259.7	111 / 3628800	0.0031%
24	16531.0	15926.6	0.04	24108.1	13 / 3628800	0.0004%
25	15703.3	15076.5	0.04	22128.9	38 / 3628800	0.010%
26	15017.0	14442.1	0.04	21905.9	26 / 3628800	0.0007%
27	15788.6	15788.1	0	23379.7	2 / 3628800	0.0001%
28	16009.3	15148.7	0.06	22799.9	234 / 3628800	0.0064%
29	15954.2	15419.5	0.03	23520.5	13 / 3628800	0.0004%
30	15809.8	15105.1	0.05	22158.2	64 / 3628800	0.018%

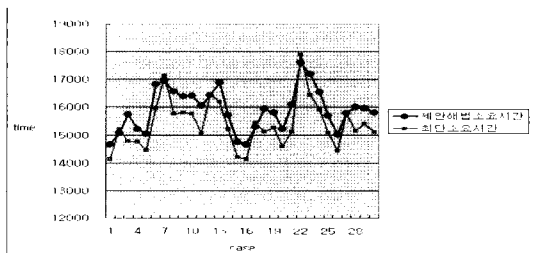


그림 4. 차량경로 시간값 비교

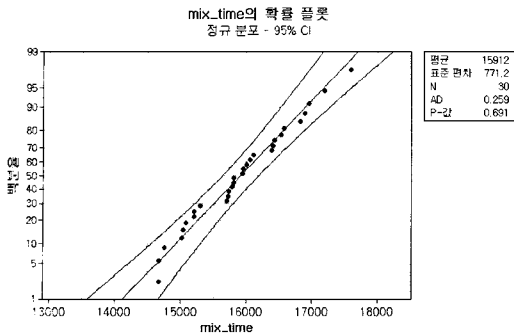


그림 5. 제안알고리즘의 해 (밀집지역을 포함하는 경우)

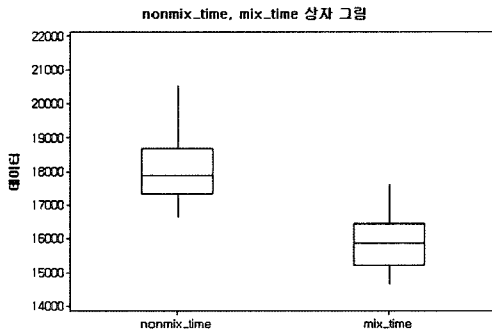


그림 6. 제안알고리즘의 해 (밀집지역 포함하는 경우와 포함하지 않는 경우 비교)

하더라도 좋은 결과를 가져올 것으로 본다. 또한 그림 5에서 상자그림을 통해 밀집지역을 포함하는 경우(mix_time)와 밀집지역을 포함하지 않는 경우(nonmix_time)의 값을 비교해 보면, 밀집지역을 포함하는 경우의 해법이 시간이 더 적게 걸리므로 보다 효율적인 경로구성을 할 수 있을 보여준다.

7. 결 론

최근의 물류회사의 입장에서는 더 이상 가용차량의 대수나 용적률 등은 심각한 문제가 아니다. 반면에 다양한 도로상황의 변화로 인하여 발생하는 고객과의 배송 약속을 지키지 못하는 것이 가장 심각한 문제로 대두되고 있고, 이는 장기적으로는 고객을 잃게 되는 커다란 문제로 나타나게 된다.

본 연구에서는 기존의 연구들에서 고려되지 않았던 지점별, 시간대별 도로상황의 동적인 환경을 고려하여 경로 탐색을 하였고, 도시내 수요지점의 대부분이 포함하고 있는 밀집지역을 고려하여 경로선정시 고려해야할 지점수를 줄여 계산량을 대폭 줄이고, 밀집지역을 포함하는 경우에는 차량의 이동속도에 영향을 받지 않으므로, 경로선정시 하루 동안 보다 많은 수요지점들을 방문할 수 있게 되어, 고객 대기 시간의 감소와 고객의 서비스 만족도를 높이는 효과를 기대 할 수 있다. 또한 각각의 유형별·구간별 시간대별 비교를 통하여 차량이동소요시간의 손실을 최소화 할 수 있으므로 물류비용과 차량운행시간, 그리고 차량운행대수의 감소를 가져오는 차량일정계획을 구성할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Kang, M. G, (1999), 「네트워크 알고리즘」, 박영사.
2. 서울시 교통관리실, (2005), 「2005년도 서울시 정기속도 조사자료」.
3. Dantzig, G. B. and Ramser, J. H., (1959), "The truck dispatching problem", Management Science, Vol. 6, No. 1. pp. 80-91.
4. Hill, A. V. and Benton, W. C., (1992), "Modelling intra-city time-dependent travel speeds for vehicle scheduling problems", Journal of the Operational Research Society, Vol. 43, No. 4, pp. 343-351.
5. Lim, J. M, (2006), "An intelligent learning based algorithm for the stochastic vehicle routing problem", Journal of the Korean Society of Supply Chain Management, Vol. 6, No. 1, pp. 95-107.
6. Malmberg, C. J., (1996), "A genetic algorithm for service level based vehicle scheduling", European Journal of Operational Research, Vol. 93, pp. 121-134.
7. Malandraki, C. and Daskin, M., S., (1992), "Time dependent vehicle routing problem: Formulations, properties and heuristic algorithm", Transportation Science, Vol. 26, No. 3.
8. Park Y. B. and Hong, S. C., (1998), "A solution of the bicriteria vehicle routing problems with time window constraints", IE Interface, Vol. 11, No. 11, pp. 183-190.
9. Park, Y. B, (2000), "A solution of bi-criteria vehicle scheduling problems with time and area-dependent travel speeds", Computers and Industrial Engineering, Vol. 30, pp. 173-187.



문 기 주 (gjmoon@dau.ac.kr)

1978년 동아대학교 공업경영학과 학사
1989년 미국 Iowa State University 산업공학 박사
1989년~1990년 한국전자통신연구원 선임연구원
1990년~현재 동아대학교 산업경영공학과 교수

관심분야 : 컴퓨터 시뮬레이션, 조합형 최적화, 공장계획



허 지 희 (hjheo@donga.ac.kr)

1999년 동아대학교 산업공학과 학사
2003년 동아대학교 산업시스템공학과 박사 수료
2003년~2006년 동아대학교 생산기술연구소 전임연구원
2006년~현재 동아대학교 생산기술연구소 특별연구원

관심분야 : 차량경로문제, 컴퓨터 시뮬레이션, 조합형최적화