

속도 정보를 이용한 효율적 차량경로의 탐색

An efficient vehicle route search with time varying vehicle speed

문기주·양승만

동아대학교 산업경영공학과 · 동의공업대학 산업시스템경영계열

Abstract

The vehicle routing problem with time-varying speed (VRPTVS) is difficult to handle with regular problem solving approaches. An approach by partitioning the service zone into three sub-zones to reduce computing time and vehicle traveling distance is suggested in this paper. To develop a partitioning algorithm for VRPTVS, all customer locations are divided into two sections such as morning zone and evening zone, excluding daytime zone. And then each service zone is calculated to find a possible number of delivery points and chosen by time window having more number of possible delivery points by considering customer location and varying speeds. A temporary complete route that can serve all target points is developed by this procedure and a pairwise exchange method is applied to reduce the traveling time.

1. 서론

최근 각 기업들은 다빈도 소량운송이라는 물류서비스에 대한 수요가 다양해지면서 처리해야될 물동량의 증가로 인하여 물류비도 증가하고 있는 실정이다. 정부의 지속적인 사회간접자본시설에 대한 투자에도 불구하고, 증가하는 물동량을 효율적으로 처리하지 못하여 국내총생산에 대비한 물류비는 미국이나 일본에 비하여 상대적으로 높게 나타나고 있다.

이러한 물류비의 증가는 차량 대수의 빠른 증가와 교통혼잡 등으로 인하여 발생하고 있으며, 특히, 도심의 심각한 정체현상은 원활한 수배송 활동에 막대한 영향을 미치는 중요한 요인으로써 이의 대한 해결책으로 효율적인 차량경로를 계획하는 일은 물류비의 절감을 위해 반드시 필요하다.

최적의 차량경로를 계획하는 문제는 차량경로문제 (vehicle routing problems:VRP)로 알려져 있으며, 그동안 다양한 형태의 VRP 해를 구하기 위해서 많은 학자들에 의해 최적해법과 발견적 해법들이 제안되었다. 그러나, 대부분의 VRP 해법들에서는 차량이동경로를 선정하는 기준으로 수요지점들간의 이동거리와 이동속도를 평가하여 경로를 구성하고 있으며, 특히 차량의 이동속도를 모든 수요지점들에서 동일한 것으로 가정하고 있다. 그러나 차량의 이동속도는 도로의 상황이나 서비스 시간대에 따라 변화하는 것이 일반적이며, 이는 기존의 이동속도를 일정하다고 가정한 모든 해법들의 유효성을 떨어뜨리게 되는 요인으로 작용한다. 따라서, 최근의 VRP 해법들에서는 차량의 이동속도가 서비스 시간대에 따라 달라지는 동적인 환경을 고려하기 시작하였으며, 차량의

이동속도가 변화하는 경우에서의 가장 큰 문제점은 이동하고자 하는 모든 수요지점들간의 기초정보가 사전에 제공되어야만 한다는 것이다. 그러나, 차량이 이동하려는 시점에서 각 수요지점들간의 정보를 데이터베이스화한다는 것은 많은 시간과 비용을 수반하게 되며, 시스템이 구축되어 있다 하더라도 매일 매일의 교통량과 도로 상황은 빠르게 급변하는 특성을 보이므로, 이를 반영하는데 많은 어려움이 따르며, 또한 효율적인 차량경로를 선정하기 위해 많은 계산량을 필요로 한다.

따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 우리나라의 서울시 교통관리실에서 제공하고 있는 교통량 정보를 이용하여, 서비스가 이루어져야 하는 각 수요지점들을 대상으로 3구역으로 분할하고, 분할된 구역별로 서비스 가능한 시간대를 지정한 후, 경로를 탐색해가는 효율적인 차량 경로탐색 알고리즘을 제안하고자 한다.

2. 연구방법 및 범위

대도시의 도로망은 매우 복잡한 형태의 네트워크로 구성되어 있으며, 차량의 효율적인 설계를 위해서는 반드시 고려되어야 할 수요지점들간의 도로상황 및 교통정보가 동적으로 매우 다양하게 변화하는 특성을 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 환경을 보다 효율적으로 반영할 수 있는 새로운 접근법으로, 가변속도를 고려한 차량일정계획을 위하여 각 수요지점을 두 개의 구역으로 분할하여 서비스 시간대를 지정해주는 방법을 사용한다.

이를 위하여, 첫 번째 단계로 정기속도 조사자료를 활용하여, 차량의 이동시점에 따른 평균이동속도를 세 개의 서비스 시간대로 구분하여 설정하였다. 그리고 두 번째 단계에서는 각 수요지점들을 두 구역으로 분할하고, 두 구역에 오전시간대와 오후시간대 중에서 보다 많은 수요지점을 방문하여 원활하게 서비스를 수행할 수 있는 서비스 시간대가 할당되도록 하였다. 그리고 세 번째 단계에서는 지정된 구역별 서비스 시간대의 차량 평균이동속도를 이용하여 차량이 수요지점을 이동하는데 소요되는 이동시간치를 기준으로 각 구역의 경로를 구성하도록 하였다. 그리고 네 번째 단계에서, 오전시간대에 배정된 구역에서 차량은 반드시 중앙창고를 출발하도록 하고, 낮 시간대에는 오전시간대의 가장 마지막 서비스 지점을 출발지점이 되도록, 그리고 오후시간대에는 차량이 낮 시간대의 마지막 서비스 지점을 출발하여 최종적으로 중앙창고로 되돌아오도록 경로를 설정하여 오전시간대, 낮 시간대, 오후시간대를 모두 포함하는 통합 경로를 구성시킨다. 마지막 단계에서는 이전단계의 통합경로를 대상으로 쌍교체법을 실시하여 해 개선 절차를 수행하도록 하였다.

그리고 구역분할 해법이 기존의 연구들과 비교해 볼

때 어느 정도 우수한지를 평가하기 위하여, Clark와 Wright에 의해 개발된 saving 알고리즘을 변형하여 확장한SAT(SAVing Technique)알고리즘.에서의 차량 경로를 분석하였다. 그리고, 각각의 경우에서 차량이 중앙창고를 출발하여 각 수요 지점에 대한 서비스를 완료하고 다시 중앙창고로 돌아오는데 소요되는 총주행시간으로 결과값을 비교하고, 실험결과와 객관성을 높이기 위해 대상 모형의 수요지점의 개수를 40개, 50개, 60개로 설정하여 각각 20회씩 실시하여 시뮬레이션 한 후, 그 결과를 분석하였다.

3. 효율적 차량경로 탐색알고리즘의 개발

가변속도를 고려한 차량경로 계획에서는 차량이 특정 고객을 방문하는 시점이 포함된 서비스 시간대의 차량 이동속도를 따르도록 설정되어 있으며, 본 연구에서는 오전·낮·오후시간대라는 3개의 서비스 시간대가 존재하는 것으로 모형을 설정하였다. 그리고 각 수요지점들을 대상으로 차량의 정체현상, 도로정보들을 이용하여, 두 개의 큰 서비스 구역으로 분할하고, 각각의 구역에 적합한 서비스 시간대를 배정하였으며, 이 때 고려될 수 있는 시간대는 오전시간대와 오후시간대로 제한하기로 한다. 왜냐하면, 낮 시간대의 도로 상황은 출퇴근 시간대에 비해 차량의 이동속도가 뚜렷하게 증가하기 때문이다. 따라서, 모형에서는 출퇴근 시간대에 정체현상이 집중적으로 발생하는 도로들과 시간대별 평균속도 등을 고려한 효율적인 차량 경로를 구성하기 위한 새로운 접근법을 설계하였다.

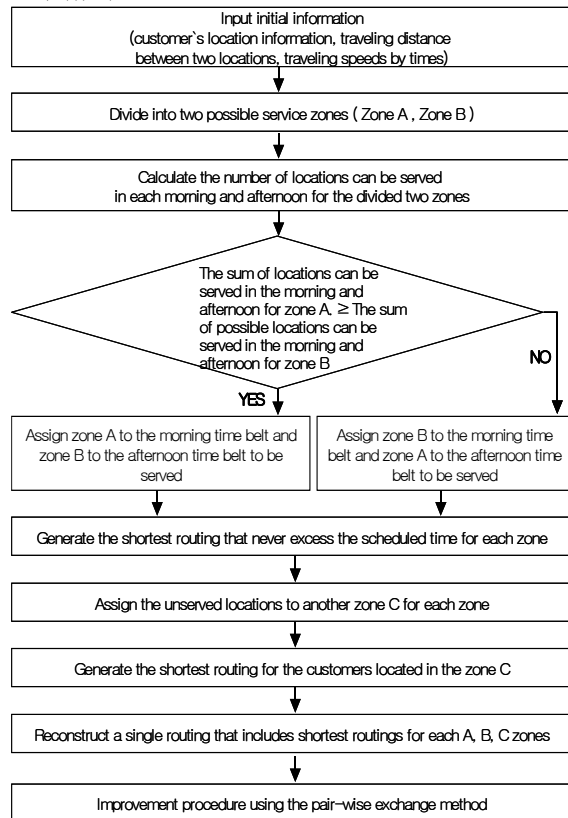


Fig. 1. Description of zone division algorithm used in vehicle routing

서비스 시간대를 각 구역에 할당하는 과정과 효율적인 차량 경로를 탐색하는 단계들을 개략적으로 소개하면

다음과 같다.

- 단계 1 : 분할된 구역별로 포함하고 있는 수요지점들을 구분
- 단계 2 : 각 구역내의 수요지점들을 대상으로 오전·낮·오후시간대의 평균 이동속도와 거리정보를 확인
- 단계 3 : 오전시간대와 오후시간대중 차량이 보다 많은 지점을 방문할 수 있도록 각각의 구역에 배정
- 단계 4 : 오전시간대로 배정된 구역의 지점들을 대상으로 경로를 형성
- 단계 5 : 오후시간대로 배정된 구역의 지점들을 대상으로 경로를 형성
- 단계 6 : 오전시간대와 오전시간대와 오후시간대에 할당되지 못한 지점들을 낮시간대로 배정하고, 오전시간대의 최종 도착지점을 출발하여 오후시간대의 출발지점으로 도착하는 경로를 형성
- 단계 7 : 오전·낮·오후시간대를 연결하는 통합경로를 구성
- 단계 8 : 쌍교체법에 의한 해개선 절차 수행

4. 수리적 모형

구역분할 모형을 위한 서비스 시간대별 차량 이동시간 추정에는 Danzig와 Ramser의 모형을 기초로 차량의 서비스 시간대별 평균 이동속도를 고려할 수 있는 형태로 변형하여 적용하였다. 모형에서 중앙창고와 서비스 차량은 한 개만 존재하며, 서비스 후 차량은 반드시 중앙창고로 되돌아오는 것으로 가정하고 있으며, 서비스 지점의 개수는 $N-1$ 개, 그리고 수요지점들간의 거리정보, 각 시간대별 수요지점들간의 평균이동속도 등은 미리 알고 있는 것으로 한다. 수리모형에 사용되는 기호를 정의하면 다음과 같다.

N : 중앙창고를 포함한 수요지점의 수

t_{ijk} : 차량이 k 시간대에서 수요지점 i 와 j 를 운행하는데 소요되는 시간

단, $k=1$ 은 오전시간대,

$k=2$ 는 낮시간대,

$k=3$ 은 오후시간대이다.

x_{ij} : 차량이 수요지점 i 와 j 를 방문하면 '1', 아니면 '0'이다.

가변속도를 고려한 수리적 모형은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N t_{ijk} x_{ij}, \quad \text{단, } k=1,2,3$$

(1)

subject to :

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, N \quad \text{단, } i \neq j \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad \text{단, } i \neq j \quad (3)$$

(3)

$$x_{ij} = \{0, 1\} \quad \text{for } \forall i, j$$

(4)

$$x = (x_{ij}) \text{는 하나의 Hamiltonian 순환로를 형성} \quad (5)$$

식(1)은 차량의 주행시간을 최소화하기 위한 목적 함수이며, 이 때 차량의 주행시간은 비용과 일대일 함수 관계이므로 식(1)은 곧 차량주행비용을 최소화하는 의미가 내포되어 있다. 그리고 식 (2)는 각 지점 j 에 들어가

는 경로는 하나뿐이라는 제약조건이며, 식 (3)은 지점 i 에서 나가는 경로는 하나뿐이라는 제약조건이므로, 식 (2)와 (3)은 결국 한 대의 차량이 하나의 수요지점을 방문하도록 하기 위한 제약식이 된다. 식 (4)는 0, 1 정수 조건으로 차량이 구간 i 와 j 에 할당되면 1이고, 그렇지 않은 경우에는 0으로 표현되어질 수 있으며, 식 (5)는 하나의 순환로를 만들어 주는 순환식을 의미한다.

5. 시뮬레이션 모형의 설계

시간대별 가변속도하에서의 3구간 구역분할 해법의 우수성을 평가하기 위하여 SAT 알고리즘의 경로와 비교하는 과정을 수행하였다. 각각의 알고리즘들은 Visual Studio 6.0 통합개발 환경하에서 Visual C++ 프로그램 언어로 코딩되었으며, 중앙창고와 수요지점들의 위치 및 거리정보 그리고 시간대별 평균이동속도 등에 대한 데이터들은 모두 동일한 모형을 대상으로 하고 있다.

작성된 프로그램의 내용을 보다 자세히 설명하면, 먼저 초기입력 정보에서 오전시간대(07:30~10:30)와 낮시간대(11:00~14:00), 오후시간대(18:00~21:00)는 모두 3시간씩으로 동일하며, 총 540분 동안 차량은 수요지점들에 대한 서비스를 실시하게 된다. 그리고 각 서비스 시간대는 프로그램 초기 단계에서 변경 가능하도록 설정되어 있으며, 차량의 운영시간이 확대되어지는 모형에서도 전혀 문제가 발생되지 않도록 프로그램 하였다. 그리고, 각 시간대별 차량의 평균이동속도 또한 최저속력과 최대속력을 변경하여 적용할 수 있도록 하였고, 거리정보와 함께 주어진 범위내에서 랜덤하게 생성된다. 그리고 다양한 구역 분할 모형을 충족시킬 수 있도록 특정 구역에 포함되어지는 수요지점들을 초기 정보로 입력 받게 되며, 모든 기초입력자료의 생성이 완료된 후, 프로그램은 각각의 알고리즘을 적용한 단일경로를 형성해내게 된다. 그리고 형성된 경로에 대한 정보를 텍스트 파일로 출력하고, 이 때 이용된 모든 정보들이 함께 출력되도록 설정하였다. 구역분할 해법이 기존의 알고리즘을 적용하여 얻어낸 결과치와 크게 다른점은 어떻게 구역을 분할하여 입력하느냐에 따라 경로 형성결과가 달라진다는 것이다. 그러나 비교대상인 SAT 알고리즘을 적용하여 구한 경로는 구역을 다르게 분할하여 입력하더라도 변하지 않는다.

본 연구의 시뮬레이션 수행을 위하여 수요지의 개수는 중앙창고를 포함하여 40개, 50개, 60개의 경우를 대상으로 하였다. 중앙창고를 포함한 수요지점의 개수를 40개, 50개, 60개로 정한 이유는 일반적으로 택배회사의 경우 차량 한 대 당 할당되는 배달내역이 회사마다 다소 차이는 있었지만, 적게는 40여개에서 많게는 60개 정도의 물품을 배달하는 것으로 조사되었기 때문이다. 실험의 객관성을 유지시키기 위하여 거리정보 및 평균이동속도 정보는 동일하게 설정하였으며, 수요지점 수의 증가가 실험결과에 어떠한 영향을 미치는지 평가하였다.

거리정보를 위해 각 지점에서 이동가능한 최소거리와 최대거리를 2km에서 25km로 설정하였다. 그리고 실제 정속도 조사자료를 이용하여 오전과 오후시간대 수요지점들간의 차량이동속도를 최저 15km/h에서 최대 30km/h로 설정하였으며, 낮 시간대 수요지점들간의 이동을 위한 최저속력과 최대속력은 20km/h~50km/h로 하였다. 지점간 이동가능 거리를 이렇게 설정한 이유는 거리가 가까운 지역(2km이내)이나 대단위 아파트 같은 구역은 하나의 지점으로 간주하였기 때문이다. 또한 제안한 구역분할 해법을 적용하기 위하여 각 시간대마다 3시간(180분)씩 이용가능하다고 설정하였다. 이러한 조건

들을 고려하여 각 모형별로 20회씩 실험하였다.

6. 수행도 실험결과 분석

(1) 40개의 수요지점을 가지는 모형

시뮬레이션 모형의 설계에서 설정되어진 입력정보를 기초로 하여 중앙창고를 포함한 수요지점의 개수가 40개인 경우를 대상으로 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 분석해 본다.

먼저, 초기정보 값으로 중앙창고를 포함한 수요지점의 개수를 40개로 입력한 뒤에 정속도 조사자료에 의하여 얻어진 오전, 오후의 최저속력과 최대속력(15km/h~30km/h), 낮 시간대 이동시 최저속력과 최대속력(20km/h~50km/h) 그리고, 지점간의 최소 이동거리와 최대이동거리(2km~25km), 각 시간대별 최대 서비스 가능시간은 180분을 입력한다.

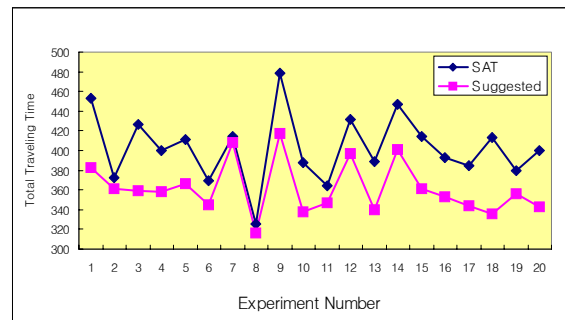


Fig 2는 앞에서 서술한 방법들에 의해 중앙창고를 포함한 수요지점이 40인 경우의 20회 실험을 한 최종 실험 결과치를 정리한 것이다. 제안한 해법이 SAT와 비교해서 평균적으로 9.25%(39.86분) 개선된 것으로 조사되었다.

(2) 50개의 수요지점을 가지는 모형

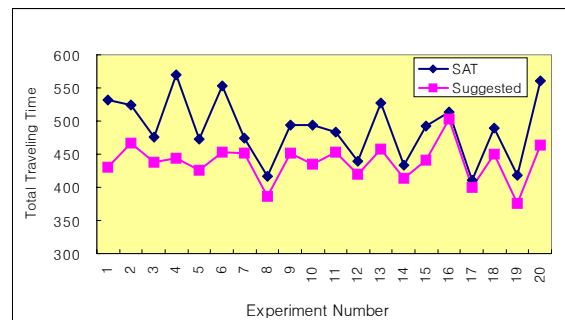


Fig. 3은 중앙창고를 포함한 수요지점의 개수를 50개로 확장한 실험에서의 최종 결과치이다. 모형에 적용된 기초정보들은 수요지점의 개수가 40개인 경우와 동일하며, 단지 수요지점의 개수만 변화되어졌다. 구역분할 해법이 SAT 알고리즘에 비해 평균 9.5%(50.65분) 개선된 것으로 분석되었다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 제안해법의 총주행시간이 가장 작은 값을 가지고 것으로 나타났다.

(3) 60개의 수요지점을 가지는 모형

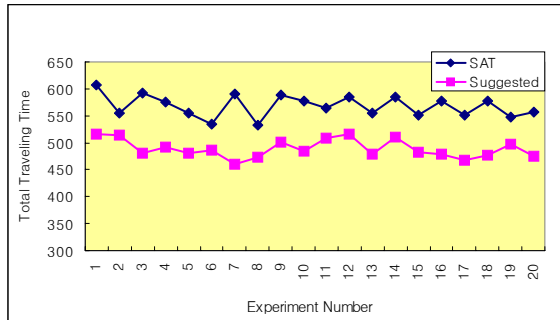


Fig. 4는 중앙창고를 포함한 수요지점이 60개 일 때 20회 실험을 한 최종 실험 결과치를 정리한 것이다. 제안한 해법이 SAT 알고리즘에 비해 평균 12.96%(77.54분) 개선된 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에서는 효율적인 차량경로를 결정하기 위한 구역분할 알고리즘을 제시하고 그 타당성을 평가하였다. 구역분할 알고리즘은 모든 수요지점들을 대상으로 오전 시간대와 오후시간대에 차량의 정체 현상 등을 고려하여 각각 우선적으로 지정되어야 할 지점들을 선별하여 할당하고, 미처 할당되어지지 못한 지점들을 낮시간대에 포함시키도록 하는 새로운 접근법이다.

수요지점을 세 개의 시간대 구역으로 분할한 이유는 서울시에서 제공하고 있는 실제 대도시의 교통정보를 이용하기 위한 것이다. 차량은 시간대가 할당된 구역내에서만 서비스를 실시하게 되며, 각각의 구역내의 지점들을 대상으로 최단 경로를 형성하게 된다. 모형에서 오전 시간대와 낮시간대, 그리고 오후시간대를 위한 세 개의 경로가 생성되어지면, 이 세 개의 최단 경로를 이용하여 모든 수요지점을 위한 한 개의 통합경로를 형성한 후, 최종단계에서 쌍교체법을 이용한 해개선 절차를 실시함으로써, 차량이 보다 빠른 시간내에 전체 수요지점에 대한 서비스를 만족시킬 수 있도록 하였다.

본 연구에서 제시한 구역 분할 알고리즘의 주요한 특징은 다음과 같다.

첫째, 교통정보를 직접 이용하여 데이터 재조사를 위한 시간과 비용을 줄일 수 있다는 이점이 있다.

둘째, 차량의 경로구성을 위한 계산량이 분할된 구역내의 수요지점들을 대상으로 하기 때문에 가장 이상적으로 3구간으로 분할이 이루어지는 경우, 기존의 알고리즘에 비해 계산량을 엄청난 수준으로 줄일 수 있다.

마지막으로, 구역분할 해법의 우수성을 입증하기 위하여, SAT를 적용하여 구한 차량경로에서의 총 주행시간차와 비교하였으며, 수요지점을 40개, 50개, 60개로 설정한 시뮬레이션 결과에서는 9.21%, 9.50%, 12.96%로 해의 개선율이 증대되고 있는 것을 알 수 있다.

이상의 연구결과에서 알 수 있듯이, 구역분할 알고리즘이 보다 효율적인 차량 경로 형성을 위한 해법으로 제시되어질 수 있으며, 실제 교통정보와 현실상황을 충분히 반영하였으므로 실제 현장 적용에 많은 이점을 줄 수 있을 것으로 평가할 수 있을 것이다.

앞으로의 연구과제는 제안한 연구방법을 토대로 하여, 각 수요지점들을 어떻게 구역분할 해 줄 것인지에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

건설교통부, "2001년도 국가물류비 6조 5천억원으로 GDP의 12.4%," 보도자료, (2003.7.25)
한진물류연구원, "물류체계 개선의 효과와 전망," 물류연구, (2001).
한진물류연구원, "불안한 운송내륙시스템," 물류연구, (2003).
Bodin, L., Golden, B., Assad, A. and Ball, M., "Routing and scheduling of vehicles and crews : the state of the art," computers and Operations Research, NO. 10, pp. 69-211 (1983).
Larporte, G., "The vehicle routing problem : An overview of exact and approximate algorithms," European Journal of Operational Research, Vol. 59, pp. 345-358 (1992).
서울시 교통관리실, "2001년도 서울시 정기속도 조사자료," (2001).
Clarke, G. and Wright, J., "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery point," Operations Research, vol. 2, No. 4, pp. 568-581 (1964).
Dantzig, G. B. and Ramser, J. H., "The truck dispatching problem," Management Science, Vol. 6, NO. 1. pp. 80-91 (1959).