

차량경로일정문제의 발견적 해법 (A Heuristic Algorithm for The Vehicle Routing and Scheduling Problem)

김 기태, 도 승용, 성 명기, 박 순달*

Abstract

This paper deals with a heuristic algorithm for the vehicle routing-scheduling problem to minimize the total travel distance and the total cost. Because the aim of the Clarke-Wright method, one of famous heuristic methods, is to minimize the total travel distance of vehicles, it cannot consider the cost if the cost and the travel distance is not proportional. In the Clarke-Wright method, the route of each vehicle is found by using the saving matrix which is made by an assumption that the vehicle comes back to the starting point. The problem dealt with in the paper, however, does not need the vehicle to come back because each vehicle has its hoping-start-points and hoping-destination-points. Therefore we need a different saving matrix appropriate to this occasion.

We propose a method to find an initial solution by applying network simplex method after transforming the vehicle routing-scheduling problem into the minimum cost problem. Moreover, we propose a method to minimize the total travel distance by using the modified saving matrix which is appropriate to no-return occasion and the method for the case of plural types of vehicles and freights.

* 서울대학교 산업공학과

1. 서 론

차량을 배차하고 계획하는 문제는 수요지점에 대한 방문시간 제약과 수요지점의 방문 순서 제약 유무에 따라 차량 경로문제(Vehicle Routing Problem: VRP)와 차량일정문제(Vehicle Scheduling Problem: VSP)로 나누어 볼 수 있다. 차량경로문제는 수요지점에 대한 방문 시간 제약이나 방문 순서의 선행관계 제약이 없는 경우에 총 이동거리를 최소화하는 문제이다. 그러나 좀 더 현실적인 문제인 경우는 차량경로문제와 차량일정문제를 구별해서 생각하기보다는 차량의 경로와 일정을 모두 구하는 문제가 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 차량경로문제와 차량일정문제를 통틀어 차량경로일정문제라고 부르기로 한다. 수송에 대한 문제는 한 국가의 경제에 있어서 상당한 부분을 차지한다. 수송에는 항공기, 철도, 차량, 선박 등에 대한 문제가 있을 수 있다. 그 중에서도 가장 많은 부분을 차지하는 것이 차량에 대한 문제라고 볼 수 있다. 따라서 차량경로 및 일정에 관한 문제는 많이 연구되어왔다. Dantzig와 Ramser[10]는 차량경로문제에 대한 최초의 모형과 해법을 제시하였다. 이것을 향상시킨 Clarke와 Wright[9]의 발견적 해법이 소개된 이후 차량경로일정 문제는 여러 가지 다양한 최적해법들과 발견적 해법들이 연구되어 오고 있다. 차량경로일정문제에 대한 해법은 크게 최적해법과 발견적 해법 두 가지로 나눌 수 있다. 최적해법은 수리계획법에서 사용하는 알고리즘을 이용하여 차량경로일정문제를 푸는 방법으로 최적해를 보장해 줄 수 있다는 장점을 가진 반면 일반적으로 계산이 복잡하고 느리다는 단점을 가지고 있다. 발견적 해법은 주로 Clarke와

Wright가 제안한 방법을 시초로 이를 응용한 방법이 많이 연구되어 왔으며 Gillett와 Miller[14]가 개발한 Sweep 알고리즘도 또한 널리 알려진 방법이다.

본 논문에서 다루는 차량경로일정문제는 주어진 제약조건하에 복수의 공급지에서 복수의 수요지로 복수의 차량을 이용하여 화물을 수송을 할 때, 차량의 총 이동거리와 차량의 총비용을 최소화하도록 차량을 배차하는 문제이다. 차량경로일정문제의 제약조건과 문제상황은 다음과 같다.

1.1 차량에 대한 제약조건

가. 복수의 차량이 존재한다. 즉 차량에는 카고트럭, 덤프, 탱크로리, 냉동차 등 여러 종류의 차량이 존재한다.

나. 각 차량은 운반할 수 있는 화물이 정해져 있다. 즉 냉동차는 냉동화물만을 실을 수 있다.

다. 각 차량은 희망출발지와 희망도착지를 가지고 있다. 모든 차량은 모든 지역을 다 운행하는 것이 아니라, 희망출발지에서 출발을 해야 하며, 운행을 멈추는 지점이 희망도착지들 중 하나야 한다. 따라서 출발지역으로 다시 돌아올 필요는 없다.

라. 각 차량은 출발시간 제약이 있다. 각 차량을 항상 이용할 수 있는 것이 아니라, 이용가능 시각의 상·하한이 존재한다. 예를 들어 어떤 차량의 이용가능시각의 하한과 상한이 9:00, 11:00라고 하면, 이 차량이 희망출발지에서 오전 9:00 이후에 출발이 가능하고 11:00 이후에는 이 차량을 출발지에서 이용할 수 없다는 것을 의미한다

마. 각 차량에는 희망제시가격이 정해져 있다. 즉 차주는 출발지에서 도착지로 화물을 운송할 때 받고자 하는 비용을 제시한다.

1.2 화물에 대한 제약조건

가. 복수의 화물, 화물주가 존재한다.

나. 화물에는 등급이 존재한다. 즉 이 등급은 화물에는 우선순위가 존재한다는 것이다. 이 우선순위는 절대적 우선순위가 아니라, 상대적 우선순위를 의미한다. 이 상대적 우선순위는 차량의 비용으로 환산되는데 우선순위가 높은 차량일수록 비용이 낮아지게 된다.

다. 복수의 화물 공급지가 존재한다. 여기서 공급지는 화물의 출발지를 의미한다. 각 화물을 서로 다른 출발지를 가질 수 있으므로 복수의 화물공급지가 존재하게 된다.

라. 운반차량의 종류에 제한이 있다. 이 제한조건은 차량에 대한 제약조건 “나”에 해당된다.

마. 화물은 항상 존재하는 것이 아니라, 발생시간과 도착마감시간을 가지고 있다.

바. 화물간에는 혼적이 가능한 화물이 있고 그렇지 않은 화물이 있다.

1.3 지점에 대한 제약조건

각 지점은 근무시작시간과 근무마감 시간이 존재한다. 따라서 화물은 근무시작시간과 마감시간사이에 도착해야 한다.

본 논문에서 다루게 되는 차량경로일정문제의 목적은 차량의 이동거리의 최소화와, 차량의 총비용을 최소화하는 것이다. 발견적 해법인 Clarke-Wright 방법은 차량의 총 이동거리를 최소화하는 데 목적을 두기 때문에 이동거리와 비용이 비례하지 않는 경우는 비용을 전혀 고려할 수 없다. 그리고 Clarke-Wright 방법은 차량이 출발지로 다시 돌아

는 것을 가정으로 한 절약행렬 개념을 바탕으로 차량의 경로를 구한다. 하지만 본 논문에서 다루게 되는 문제상황은 각 차량은 희망출발지와 희망도착지가 존재해서 출발지로 다시 돌아올 필요가 없다. 따라서 Clarke-Wright 방법의 절약개념을 사용할 수 없다. 출발지로 돌아오지 않는 상황에 알맞은 절약행렬 개념이 필요하다.

본 논문에서는 비용을 고려하기 위해 차량경로일정문제를 네트워크모형의 최소비용문제로 전환한 후, 네트워크 단체법을 이용하여 초기해를 구하는 방법을 제시하고자 한다. 그리고 수정된 절약행렬 개념을 이용하여 차량의 희망출발지 도착지 제약조건을 처리하는 방법과 화물과 차량의 종류가 복수일 때 처리하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 차량경로일정문제에 대한 기존의 연구

차량경로일정문제의 해법은 크게 발견적 해법과 최적해법 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 두 가지 방법 모두 장단점이 있고 차량경로일정문제가 문제의 상황에 따라 여러 해법들이 존재하므로 일반적으로 모든 문제에 가장 적합한 해법이 존재하지 않으므로 어느 해법이 가장 우수하다고 말할 수 없다. 이 절에서는 기존의 차량경로일정문제를 위한 최적해법과 발견적 해법에 대해 간략히 알아본다.

2.1 최적해법

최적해법은 발견적 해법에 비해 최적해를 보장해주는 장점을 가지고 있지만 발견적 해법보다는 일반적으로 계산이 복잡하고 느리다는 단점이 있다. Fisher와 Jaikumar[12]는 수요지를 차량에 할당하기

위해 차량경로일정 문제를 근사시킨 일반화된 할당 문제를 풀었다. Balinski와 Quandt[6]에 의해 집합분할(set partitioning)기법을 이용한 방법이 처음 제안되었고, Agarwal, Mathur 그리고 Salkin[4]과 Desrosiers와 Solomon[11]은 시간제약을 고려한 문제에 대해 집합분할 모형과 열제조법(column generation)에 기초를 둔 정확한 알고리즘을 제안했다. 김우제와 박순달[1]은 분지한계법을 이용한 해법을 제시하였다. 현재는 라그랑지 완화(Lagrangian relaxation)를 이용한 방법[15]이나 열제조법을 이용한 방법이 최적화 기법 중에서 가장 성능이 우수한 것으로 알려져 있다.

2.2 발견적 해법

발견적 해법은 최적해법에 비해 최적해를 보장해 주지 못하지만 구현이 쉽고 계산이 간단하며 빠르다는 장점을 가지고 있다. Clarke-Wright[1] 방법은 가장 잘 알려진 발견적 해법이다. 이 방법의 주된 아이디어는 절약개념을 바탕으로 초기해로 주어진 단독경로들을 합쳐나가는 것이다. 즉 이들 단일경로에 대해 두 경로를 하나로 연결시킴으로써 차량을 줄이고 비용도 줄이게 된다. Gaskell[13]과 Yellow[20]는 수정된 절약 개념을 도입했으며, Altinkemer와 Gavish[5]는 Clarke-Wright방법을 한 회에 여러 쌍의 경로들을 연결시키도록 구현하였다. Lin[16]과 Lin과 Kernighan[17]은 외판원 문제에 대한 k -최적해를 소개했다. Christofides와 Eilon[8]은 용량제한 없는 차량경로 문제를 외판원 문제로 다시 모형화해서 차량경로 문제에 대해 Lin과 Kernighan의 방법을 적용하였다. Russell[18]은 3개 이상의 호를 포함하는 교환을 선택적으로 고려함으로써

Christofides-Eilon 절차를 개선하였다. Gillett와 Miller[14]가 개발한 Sweep 알고리즘은 가장 잘 알려진 2국면 방법이다. 2국면 방법에 대한 연구는 Christofides, Mingozzi 그리고 Toth[7], Tyagi[19] 등에 의해서도 연구되었다.

3. 차량경로일정문제에 대한 발견적 해법

3.1 수정된 절약행렬

Clarke-Wright 방법은 절약개념을 도입한 발견적 해법이다. 두 개의 수요지점 i 와 j 를 두 대의 차량으로 공급받는다 하자. 지점 i 와 지점 j 를 연결하여 두 대의 차량대신에 한 대의 차량으로 운행한다면 운행거리에 있어 다음과 같은 절약이 생긴다.

$$(d_{si} + d_{is} + d_{sj} + d_{js}) - (d_{si} + d_{ij} + d_{js}) \\ = (d_{is} + d_{sj}) - d_{ij}$$

여기서 s 는 출발지를 의미하고 d_{ij} 는 지점 i 와 지점 j 사이의 거리를 의미한다. 따라서 두 개의 경로를 연결하면 위에서 구한 두 지점의 절약만큼 거리가 단축되게 된다.

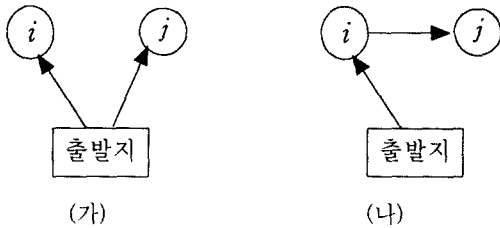
이 Clarke-Wright 방법의 절약개념은 출발지로 다시 돌아오는 경우에 적합한 방법이다. 그런데 본 논문에서 다루게 되는 문제는 각 차량이 희망출발지와 희망도착지가 존재하기 때문에 다시 출발지로 돌아올 필요가 없다. 즉 희망도착지에서 차량은 멈추게 된다. 따라서 출발지로 다시 돌아오지 않는 문제 상황에 적합한 절약개념이 필요하다. 이것은 Clarke-Wright 방법의 절약개념을 다음과 같이 수정하면 된다. 이는 [그림 3-1]의 (가)에서 (나)로 변

경되었을 때의 차이가 된다.

$$s_{ij} = d_{sj} - d_{ij} \quad \forall i, j \in N,$$

여기서 N 은 지점들의 집합을 의미한다.

따라서 위와 같이 계산한 다음 양의 값을 가지는 절약들 중에서 가장 큰 값을 가지는 두 개의 지점으로부터 경로를 합칠 수 있는 지 확인한다.



(가) (나)
[그림 3-1] 출발지로 돌아오지 않는 경우의 절약개념

3.2 유방향 네트워크에서의 차량 경로생성방법

Clarke-Wright 방법은 무방향 네트워크에서 절약행렬을 이용하여 경로를 만들어 간다. 여기서는 수정된 절약행렬을 이용하여 송성현과 박순달 등[3]이 제시한 방법으로 차량의 경로를 만들어 간다. 두 개 지점의 연결은 다음의 4가지 경우에만 가능하다.

가. 연결된 두 개의 지점 모두가 기존경로에 포함되어 있지 않은 경우

연결될 두 개의 지점이 기존의 어떠한 경로에도 포함되어 있지 않을 경우에는 그 두 개의 지점 i 와 j 가 새로운 경로 L 의 최초 및 최종배달지가 된다.

나. 지점 i 만 기존경로에 포함되어 있을 경우

지점 i 만이 기존경로 L 에 포함되어 있을 때 그 경로에서 지점 i 가 최종배달지로 있을 경우에만

지점 j 와 연결이 가능하다. 그러면 지점 j 가 경로 L 의 최종배달지가 된다.

다. 지점 j 만 기존경로에 포함되어 있을 경우

지점 j 만이 기존경로 L 에 포함되어 있을 때 지점 j 가 그 경로에서 최종배달지로 있을 경우에만 지점 i 와 연결이 가능하다. 그러면 지점 i 가 경로 L 의 최초배달지가 된다.

라. 두 개의 지점 모두가 기존 경로에 포함되어 있을 경우

지점 i 가 기존경로 L_1 에 지점 j 가 기존경로 L_2 에 포함되어 있을 때, 지점 i 가 경로 L_1 에서 최종배달지로 있고, 지점 j 가 경로 L_2 에서 최초배달지로 있을 경우에만 지점 i 와 지점 j 가 연결 가능하다. 이때 경로 두 개가 한 개로 줄어들게 된다.

앞에서 살펴본 바와 같이 지점 i 와 지점 j 가 위의 네 가지 형태에 해당될 경우에만 연결가능성이 있다. 그러한 경우 중에서 제반제약조건 즉, 차량의 희망출발지/도착지 제약조건, 화물의 발생 및 도착요구시각, 차량의 이용가능시간 등 모든 제약조건을 만족하게 되면 두 개 지점의 연결을 확정짓게 된다

3.3 비용을 고려한 초기해

Clarke-Wright 방법은 각 지점에 한 대의 차량을 배차하는 것을 초기해로 하여 차량의 이동거리를 최소화하는 방향으로 이 초기해를 개선시킨다. Clarke-Wright 방법에서는 비용을 고려해서 초기해를 구하지 않는다. 본 논문에서 다루는 차량일정경로문제에서는 각 차량은 희망제시가격을 가지고 있

다. 즉 각 차주는 희망출발지에서 희망도착지로 화물을 운송할 때 받고자하는 가격을 제시한다.

차량의 총운송비용과 차량의 총이동거리를 최소화할 동시에 고려한다는 것은 매우 어렵다. 따라서 총운송비용을 최소화하는 것을 고려하여 초기해를 구한다. 그런 다음 이 초기해를 바탕으로 차량의 이동거리를 최소화하도록 수정된 절약개념을 이용하여 차량의 경로들을 합쳐나가는 과정을 수행한다.

각 차량이 제시한 가격을 고려하여 초기해를 구하는 것은 차량일정경로문제를 네트워크의 최소비용 문제로 전환한 후 네트워크 단체법을 이용하면 쉽게 구할 수 있다. 이 차량경로일정문제를 최소비용문제로 전환하기 위해서는 공급지와 수요지, 호와 호의 비용이 있는 네트워크 모형으로 나타내 주어야 한다. 이를 위해 다음과 같이 정해준다.

공급지 $i = i$ 번째 차량(공급량 : 차량 i 의 용량)
 수요지 $j = j$ 번째 화물(수요량 : 운송되어야 할 화물 j 의 양)

호 $(i, j) =$ 차량 i 의 희망출발지/희망도착지가 화물 j 의 출발지/도착지와 같은 경우 생성

호 (i, j) 의 비용 $c_{ij} =$ 차량 i 의 제시가격
 + 화물 j 의 우선순위에 해당하는 비용
 호 (i, j) 의 상한 $=$ 차량 i 의 용량과 운송되어야 할 화물 j 의 양 중에서 최소값

호 (i, j) 를 생성할 때 차량의 희망출발지/도착지가 화물의 출발지/도착지와 같아야 한다는 조건 외에 차량의 이용가능시간조건도 고려해야 한다. 즉 차량 i 가 이용가능시간의 상·하한에서 출발하여 화물 j 의 도착마감시간안에 도착지에 도착하면 호를

생성되고, 그렇지 않으면 호를 생성하지 않는다.

화물에는 우선순위가 존재한다. 화물의 우선순위는 절대적인 우선순위가 아니다. 화물의 우선순위를 고려하면서 최소비용문제를 풀기 위해서는 화물의 우선순위를 비용으로 환산해주어야 한다. 따라서 본 논문에서는 호 (i, j) 의 비용을 산정하기 위해서 화물 j 의 우선순위를 비용으로 환산한 다음 차량 i 의 제시가격과 더하였다. 우선순위를 비용으로 환산하기 위해 다음의 식을 사용하였다.

화물 j 의 우선순위의 비용 $= \alpha \times$ 화물 j 의 우선순위. 여기서 α 는 미리 정해진 가중치

예를 들어 화물의 우선순위가 1등급과 2등급이 있다면 화물 1등급의 비용은 $\alpha \times 1$ 이고, 화물 2등급의 비용은 $\alpha \times 2$ 이다.

이와 같이 최소비용문제의 네트워크 모형으로 전환을 하게 되면 다음의 다섯 가지의 경우가 발생한다.

가. 공급지의 총공급량이 수요지의 총수요량보다 많은 경우

나. 수요지의 총수요량이 공급지의 총공급량보다 많은 경우

다. 공급지의 총공급량과 수요지의 총수요량이 균형을 이루었으나, 어떤 개별적인 수요지점의 수요량이 충족되지 못하는 경우

라. 공급지의 총공급량과 수요지의 총수요량이 균형을 이루었으나, 어떤 개별적인 공급지점이 공급량을 다 보내지 못할 경우

마. 공급지의 총공급량과 수요지의 총수요량이 모두 균형을 이루고, 각 공급지점과 수요지점에 대해 공급량과 수요량을 충족시킬 수 있는 경우

위의 다섯 가지 문제들 중 다섯 번째 문제를 제외한 다른 문제들은 비가능 문제가 된다. 따라서 이러한 비가능 문제들을 가능해가 존재하는 문제들로 전환하는 방법이 필요하다. 위의 다섯 가지 유형을 모두 다루면서 가능해 문제로 만들기 위해서는, 모든 수요지점들과 연결되어져 있는 가공급지와 모든 공급지들과 연결되어져 있는 가수요지를 첨가해야 한다. 그리고 가공급지와 가수요지에 연결되어진 호의 비용은 무한대로 둔다.

3.4 복수 종류의 화물 복수 종류의 차량

차량과 화물은 여러 종류가 있고, 각 차량은 운반할 수 있는 화물들이 정해져 있다. 또 화물들간에도 함께 싣고 갈 수 있는 것도 있고 함께 싣고 갈 수 없는 것도 있다. 따라서 단일종류의 차량일정경로문제 해법을 바로 적용할 수가 없고, 화물의 종류별로 단일종류의 차량일정경로문제를 만든다. 그런 다음 화물의 종류 수만큼 단일종류의 차량일정경로문제를 풀게 된다. 이 때 화물은 종류에 따라 이용할 수 있는 차량의 종류가 정해져 있기 때문에 모든 차량에 대해 고려를 하는 것이 아니라, 이 화물이 이용할 수 있는 차량의 종류에 속하는 차량들만 고려한다.

3.5 차량일정경로문제의 발견적 해법

본 논문에서 제시하는 발견적 해법은 크게 두 부분으로 나누게 된다. 네트워크 단체법을 이용하여 비용을 고려한 초기해를 구하는 부분과 이 초기해를 절약개념을 이용하여 차량의 총 이동거리를 최소화하는 방향으로 개선시키는 부분으로 구성된다.

차량일정경로문제의 발견적 해법은 다음과 같다.

단계 1 화물을 종류에 따라 정렬을 한다.

$p = 1$ 로 둔다. 여기서 p 는 화물의 종류를 나타낸다.

단계 2 p 종류의 화물이 이용할 수 있는 차량과 화물사이에 최소비용문제의 네트워크 모형을 만든 후 네트워크 단체법을 이용하여 초기해를 구한다.

단계 3 종류 p 의 화물중에서 공급지 s 를 출발지로 하는 모든 화물들에 대해 다음의 절약행렬을 계산한다.

$$s_{ij} = d_{ij} - d_{sj} \quad i, j \in N$$

$N = s$ 를 출발지로 하는 모든 화물들의 도착지점

s 를 출발지로 하는 모든 화물들의 도착지점들에 대해 수요지점으로 간주하고, 이 지점의 수요량을 운송되어야 할 화물의 양으로 둔다.

단계 4 절약이 양수인 것 중에서 크기 순서로 열거하고, 그러한 절약을 만드는 두 개의 지점을 출발지점과 도착지점으로 구분하여 기록한 절약목록을 만든다. 절약목록 내에 있는 절약사항의 총 개수를 NK 로 둔다.

단계 5 여기서 지점 i 의 수요량 Q_i 가 현재 이용 가능한 차량의 최대적재용량보다 크면 그 지점에 제약조건을 만족하는 한 대 이상의 차를 별도로 배차하고, 나머지 수요지점들에 대해 제약조건(차량의 희망출발지/도착지제약조건, 차량의 이용가능시간의 상·하한, 화물의 도착마감시간)을 만족하는 차량들을 배차한다. 나머지 물량을 그 지점의 소요량 Q_i' 으로 한다. $k=0$ 으로 둔다.

단계 6 $k = k + 1$ 로 둔다.

만일 $k > NK$ 이면 (즉 절약목록을 다 읽으면) 단계 9로 한다. 현재 가장 큰 절약을 나타내주는 두 개의 지점을 절약목록에서 읽어들인다.

단계 7 제약조건을 만족하면서 두 개 지점의 차량을 하나로 묶을 수 있는가를 검토한다. 만일 묶을 수 없다면 단계 6로 간다. 두 개의 지점을 묶어주어진 제약조건을 모두 만족시킬 수 있으면 묶는다. 두 개의 지점의 어느 경로에 속하는 기록을 하고 단계 6으로 간다.

단계 8 모든 수요지점이 어떤 경로 중에 포함되어 있는가 점검한다. 경로에 포함되어 있지 않는 지점이 있으면 그 지점으로 하여금 단독으로 하나의 새로운 경로를 구성하고 제약조건을 만족하는 차량을 배차한다. p 종류의 화물에 속하는 화물의 모든 공급지를 고려했으면 단계 9로 가고 아니면 단계 3으로 간다.

단계 9 모든 종류의 화물을 고려했으면 종료하고 아니면 $p = p + 1$ 로 두고 단계 2로 간다.

4. 구현 및 실험

위에서 개발한 알고리즘을 효율적으로 구현하기 위해서는 효율적인 자료구조의 설계가 중요하다. 특히 화물의 수와 차량의 수가 많은 경우에는 더욱 그러하다. 차량일정경로문제의 구현에서 중요한 자료구조는 경로에 대한 정보를 저장하는 자료구조와 화물과 차량에 대한 정보를 저장하는 자료구조이다. 경로는 경로에 대한 정보를 저장하는 구조체 변수에 저장되어진다. 경로를 저장하는 구조체는 두 개의 경로가 합쳐질 경우 하나는 없어지게 된다. 이 없어진 경로를 고려하지 않고 새로운 경로가 생성될 때

마다 새로운 저장공간을 사용하면 메모리가 많이 낭비되게 된다. 따라서 새로운 경로가 생성될 때 없어진 경로의 저장공간을 이용하면 메모리를 효율적으로 사용할 수 있다. 이 스택에는 알고리즘 수행 중에 경로가 없어진 경우 그 경로의 위치를 저장한다. 새로운 경로가 생성될 때마다 스택이 비어있는지 확인을 한 후 비어있다면 새로운 저장공간에 저장을 하고, 그렇지 않으면 스택으로부터 비어있는 기존의 공간에 대한 위치를 가져온다.

화물은 종류별로 정렬되어진다. 정렬되어진 화물을 저장하는 데는 네트워크 입력구조를 저장하는 데 많이 사용되어지는 forward star형을 사용되어진다. 절약행렬은 출발지가 같은 화물들에 대해 계산되어진다. 즉 공급지가 같아야 한다. 따라서 각 종류별로 정렬되어진 화물을 다시 출발지가 같은 화물별로 정렬을 할 필요가 있다.

차량일정경로문제에 대한 발견적 해법을 수행하기 위해서 차량은 용량별로 정렬이 되어져 있어야 한다. 즉, 차량의 용량이 큰 순서대로 정렬이 되어져 있어야 한다. 차량의 수는 상당히 많을 수 있으므로, 차량을 용량별로 정렬을 하는 데는 속도가 빠른 힙정렬(heap sorting)을 사용한다.

4.1 실험문제

차량일정경로문제의 발견적 해법을 실험하기 위해 다음과 같이 무작위로 문제를 생성하였다. 무작위로 생성된 데이터의 형태는 다음과 같다.

가. 문제 크기에 대한 정보 : 지점수, 차량수, 화물수

나. 화물을 운송할 수 있는 차량종류에 대한 정보 : 화물 종류, 차량종류

다. 지점에 대한 정보 : 지점 인덱스, 근무시작시간, 근무마감시간

라. 화물에 대한 정보 : 화물 번호, 우선순위, 톤수, 화물종류, 출발지, 도착지, 화물출발시간, 화물도착시간

마. 차량에 대한 정보 : 차량 번호, 톤수, 차량종류, 희망출발지(3개), 희망도착지(3개), 차량출발가능시간, 차량출발가능시간의 상한, 차량의 제시가격

바. 지점간 거리에 대한 정보 : 모든 두 지점간의 거리

사. 지점간 소요시간에 대한 정보 : 모든 두 지점간의 이동 소요시간

4.2 실험결과

<표4.1>은 차량의 이동거리만을 고려해서 문제를 푼 경우와 차량의 제시가격까지 고려한 경우의 실험결과이다. 음영으로 된 부분이 본 연구에서 제시한 방법으로 푼 결과이다. 두 가지를 비교해 보면 차량의 이동거리만을 고려한 경우보다 차량의 비용도 함께 고려한 경우가 전체적인 운송비용이 작다.

이것은 차량의 비용을 고려하여 푼 결과를 초기 해로 이용했을 경우에는 가능한 제시가격이 높지 않은 차량들을 이용하기 때문에 총 차량의 이용비용이 더 작게 나오게 된다. 실제로 차량이 화물을 운송할 경우에 그 차량이 아주 작은 거리를 간다고 해도 일단 운행을 하면 그 제시가격을 받게 되고 만일 아주 먼 거리를 가거나 화물을 많이 싣고 갈 경우에 제시가격에서 추가로 더 받게 된다. 실제 화물운송에 있어서 이러한 방식으로 이루어지기 때문에 소요된 차량들의 제시가격의 총 합이 차량을 이용한 총비용의 하한이 된다. 즉, 차량제시가격의 총 합 이상의 비용

이 들게 된다.

[표 4.1] 실험결과

지점	차량	화물	풀이방법	차량비용
162	95	11	차량제시가격 고려	2967
			총이동거리만 고려	4092
162	95	30	차량제시가격 고려	9018
			총이동거리만 고려	10711
162	700	67	차량제시가격 고려	25006
			총이동거리만 고려	26918
162	950	107	차량제시가격 고려	41656
			총이동거리만 고려	41736
162	1800	135	차량제시가격 고려	52185
			총이동거리만 고려	53839
162	2300	149	차량제시가격 고려	61111
			총이동거리만 고려	61572
162	700	200	차량제시가격 고려	66928
			총이동거리만 고려	70117
162	950	300	차량제시가격 고려	99149
			총이동거리만 고려	100810
162	2000	400	차량제시가격 고려	142066
			총이동거리만 고려	143481

5. 결 론

본 논문에서 다룬 차량경로일정문제의 목적은 차량의 이동거리의 최소화, 차량의 총비용을 최소화하는 것이다. 발견적 해법인 Clarke-Wright 방법은 차량의 총 이동거리를 최소화하는 데 목적을 두기 때문에 이동거리와 비용이 비례하지 않는 경우는 비용을 전혀 고려할 수 없다. 그리고 Clarke-Wright 방법은 차량이 출발지로 다시 돌아오는 것을 가정으로 한 절약행렬 개념을 바탕으로 차량의 경로를 구한다. 하지만 본 논문에서 다루게 되는 문제상황은 각 차량은 희망출발지와 희망도착지가 존재해서 출발지로 다시 돌아올 필요가 없다. 따라서 Clarke-Wright

방법의 절약개념을 사용할 수 없다. 출발지로 돌아 오지 않는 상황에 알맞은 절약행렬 개념이 필요하다.

본 논문에서는 비용을 고려하기 위해 차량경로일 정문제를 네트워크모형의 최소비용문제로 전환한 후, 네트워크 단체법을 이용하여 초기해를 구하였다. 그리고 차량이 다시 출발지로 돌아오지 않는 상황에 적합한 수정된 절약행렬 개념을 이용하여 이동거리를 최소화하는 방법과 화물과 차량의 종류가 복수일 때 처리하는 방법을 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김우제, 박순달, "복수차고 복수차종 차량일정문제의 최적해법", 한국경영과학회지, 제13권 2호, 1988, pp. 9-17.
- [2] 라연주, 송성현, 박순달, "제품수송을 위한 일일 배차계획시스템의 개발", 전산활용연구, 제5권 1호, pp. 27-48, 1993
- [3] 송성현, 박순달, "제품 배달 배차를 위한 발견적 기법", 한국군사운영분석회지, 10권 1호, pp. 41-55, 1984
- [4] Agarwal, B.K., K. Mathur and H.M. Salkin, "A set partitioning based exact algorithm for the vehicle routing problem", Networks, Vol. 19, pp. 731-749, 1989.
- [5] Altikemer, K. and B. Gavish, "Parallel savings based heuristics for the delivery problem", Operations Research, Vol. 39, pp. 456-469, 1991.
- [6] Balinski, M.L. and E. Quandt, "On an integer program for a delivery program", Operations Research, Vol. 12, pp. 300-304, 1964.
- [7] Christofides, N., A. Mingozzi, and P. Toth, "Exact algorithm for the vehicle routing problem based on Spanning Tree and Shortest Path Relaxation", Mathematical Programming, Vol. 20, pp. 255-282, 1981.
- [8] Christofides, N. and S. Eilon, "An algorithm for the vehicle dispatching problems", Operations Research Quarterly, Vol. 20, pp. 309-318, 1969.
- [9] Clarke, G. and J.W. Wright, "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points", Operations Research, Vol. 12, 1964, pp. 568-581.
- [10] Dantzig, G.B. and J.H. Ramser, "The truck dispatching problem", Management Science, Vol. 6, pp. 80-91, 1959.
- [11] Desrochers, M., J. Desrosiers and M.M. Solomon, "A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows", Operations Research, Vol. 40, pp. 342-354, 1992.
- [12] Fisher, M.L. and R. Jaikumar, "A generalized assignment heuristic for vehicle routing", Networks, Vol. 11, pp. 109-124, 1981.
- [13] Gaskell, T.J., "Basis for vehicle fleet scheduling", Operations Research Quarterly, Vol. 18, 1967.
- [14] Gillett, B. and L. Miller, "A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem",

- Operations Research Vol. 22, pp. 340-349, 1974.
- [15] Kohl, N., O.B.G. Madsen, "An optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows based on Lagrangian relaxation", Operations Research, Vol 45, 1997.
- [16] Lin, S, "Computer solution of the traveling salesman problem", The Bell system Technical Journal, Vol. 14, pp. 2245-2269, 1965.
- [17] Lin, S., B.W. Kernighan, "An effective heuristics algorithm for the traveling salesman problem", Operations Research, Vol. 21, pp. 498-516, 1973.
- [18] Russell, R.A, "An effective heuristic for the M-tour traveling salesman problem with some side conditions", Operations Research, Vol. 25, 517-524, 1977.
- [19] Tygai, M, "A practical method for the truck dispatching problem", Journal of Operations Research Society of Japan, Vol. 10, pp. 76-92, 1968.
- [20] Yellow, P, "A computational modification to the saving method of vehicle scheduling", Operations Research Quarterly, Vol. 21, pp. 281-283, 1970.