

배달과 수거를 포함한 다품목 수송차량 배차문제에 관한 연구

A study of Multi-commodity Pickup & Delivery VRSP with Time-window

조 용 철*
YongChul, Jho
이 창 호*
ChangHo, Lee

요 약

본 연구에서는 차량용량이 같지 않은 복수의 다른 종류의 차량을 고려하여, 차량이 이동하면서 배달과 수거를 동시에 수행하고 수거지점으로부터 화물을 수거하여 차고지로 운송하는 귀로 화물(Backhauls)을 갖는 PDP(Pickup and Delivery Problem)문제를 그 연구 대상으로 한다. 동시에 차량을 통해 이동되는 품목이 단일 품목이 아니고, 배달 및 수거시간제약조건을 갖는 다 품목 시간제약 수송차량 배차문제를 Time-space network를 이용하여 정수선형계획문제로 정식화한다. 이를 최적화 S/W LINGO를 이용하여 위의 모든 제약조건을 만족하면서 운용되는 차량 수와 차량의 이동경로를 최소화하는 해를 구하고, 분석한 내용을 보여주하고자 한다. 덧붙여 위 문제의 입·출력자료를 데이터베이스화하여 지리정보시스템(Geographic Information System : GIS)과 통합한 차량운행경로결정 지원시스템을 구축하기 위한 방법을 제시하고자 한다.

1. 서론

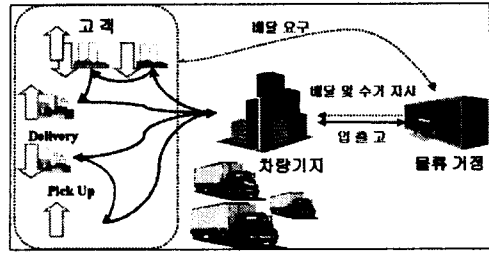
차량 경로 문제(Vehicle Routing Problem: VRP)에 관한 연구는 Dantzig와 Ramser가 최초로 고려하기 시작하여 Clarke와 Wright가 차량운행 경로 문제를 풀기 위해 절약기법(Savings method)을 개발한 이후 지금에 이르기까지 무수히 많은 연구가 있어왔다[3][4]. 그 중 고객 방문순서에 관한 제약에 따라 차량의 경로를 결정하고 차량의 일정을 정하는 문제를 배차 문제(Vehicle Routing and Scheduling Problem : VRSP)라고 한다. 이러한 배차문제는 차량이 이동하면서 배달(Delivery)과 수거(Pickup)를 동시에 고려하는 PDP문제로의 확장이 가능하다. 이 때 수거지점에서 수거되어 본점으로 돌아오는 화물을 귀로화물(Backhauls)이라 하는데, 귀로화물이 있는 차량경로문제는 다항식 알고리즘이 알려져 있지 않는 문제로서 지금까지도 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 지금까지 언급했던 배차문제의 제약조건들을 동시에 고려하여 배달과 수거를 포함하는 다품목 시간제약 수배송 차량경로일정문제를 Time-space network [2]를 이용하여 정수선형계획문제로 정식화하고 이를 최적화 S/W LINGO[5]를 이용하여 고려된 모든 제약조건을 만족하면서 운용되는 차량 수와 차량의 이동경로를 최소화하는 최적해를 구하고자 한다.

2. 연구 모델 소개

본 연구에서 고려한 배차문제를 Bodin, et. al의 배차문제의 특성요인에 따라 연구모델을 분류하면 아래와 같고 이를 도식화 하면 <그림 1>과 같다.

* 인하대학교 산업공학과

- (1) 차고수 또는 차량기지수 : 단일 차고
- (2) 차량수 : 복수 차량
- (3) 차종 : 다른 종류
- (4) 수요 형태 : 확률적
- (5) 수요위치: 지점
- (6) 차량적재용량 : 혼합
- (7) 작업내용 : 상·하차(Pickup & Delivery), 분할 배달 허용
- (8) 목적함수 :
 - 총 운행비용의 최소화 (운행거리와 운행에 따른 변동비용의 최소화)
- (10) 기타 문제특유의 제약조건 : 도심내 통행이동시간의 변화를 고려



<그림 1> 연구모델 도식화

3. 모델의 정식화

본 연구에서 제시하는 정식화의 주요 개념은 Time-space network의 한 노드를 중심으로 입력되는 모든 값과 그 노드에서 나가는 모든 값이 일치해야 하는 Flow conservation constraints를 만족하는 데 있다. 예를 들어 배달되는 물건의 경우, Time-space network의 t 시점의 i 노드를 중심으로 그 이전 시점으로부터 들어오는 값이 해당시점에서 배달되는 값과 나가는 값의 합과 일치해야 한다. 반대로 수거되는 물건의 경우, t 시점의 i 노드를 중심으로 그 이전 시점으로부터 들어오는 값과 해당시점에서 수거되는 값의 합이 나가는 값과 일치해야 된다.

3.1 Assumption and limitations.

다음은 본 연구의 정식화 모델에 대한 기본 가정을 정리 한 것이다.

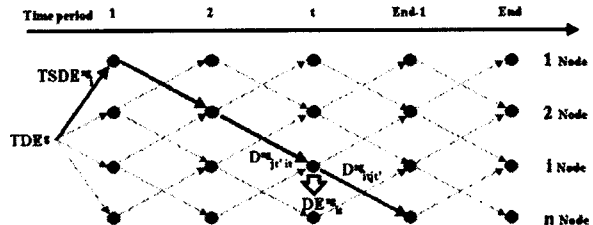
- (1) 고객의 배달 요구량과 수거량은 미리 알려져 있다.
- (2) 고객의 배달요구시간과 수거시간은 미리 알려져 있다.
- (3) 품목의 상·하차에 관한 시간은 고려하지 않았다.
- (4) 차량이 이동하는 각 지점간의 시간대별 이동시간이 다를 수 있다.
- (5) 차량이 이동방향에 따라 이동하는 각 지점간의 거리가 다를 수 있다.
- (6) 차량종류에 따라 이동하는 거리에 따라 변동비요소의 운영비가 다르게 발생한다.

3.2 제약식 설명

본 연구의 정식화 모델은 크게 운용되는 차량 수와 차량의 이동경로를 최소화하는 목적함수와 다음과 같은 제약식 부분으로 구성되어 있다.

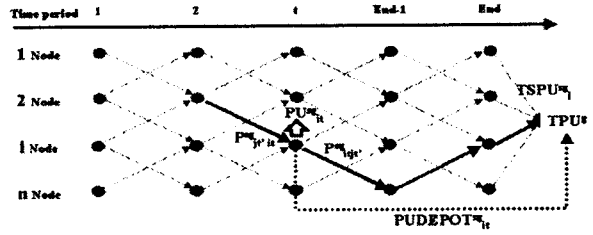
(1) Delivery-Commodity flow constraints

- (a) Flow conservation constraints
- (b) Time window constraints
- (c) Nonnegativity constraints



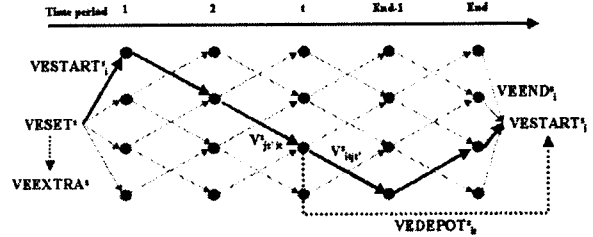
(2) Pickup-Commodity flow constraints

- (a) Flow conservation constraints
- (b) Time window constraints
- (c) Nonnegativity constraints



(3) Vehicle flow constraints

- (a) Flow conservation constraints
- (b) Nonnegativity constraints

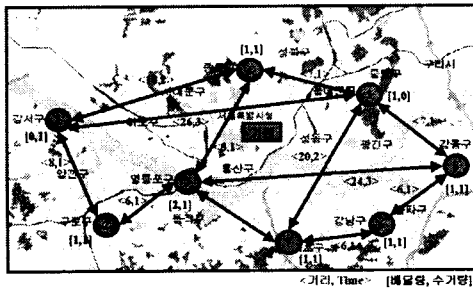


(4) Linkage constraints between vehicle and Commodity flow

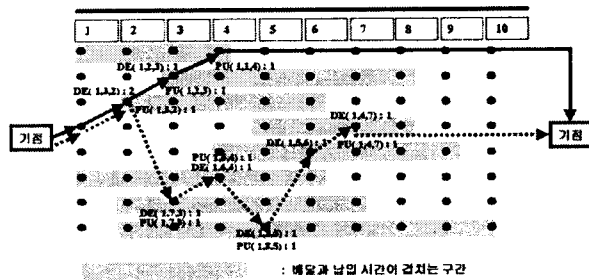
- (a) Vehicle capacity constraints

4. LINGO를 활용한 연구 모델의 결과 분석

본 연구에서 제시한 정식화 모델을 이용하여 <그림2>와 같은 문제의 최적해를 Time-space network에 나타내면 아래 <그림3> 와 같다.



<그림 2> Physical network (8Node)



<그림 3> Optimal Solution on Time-space Network

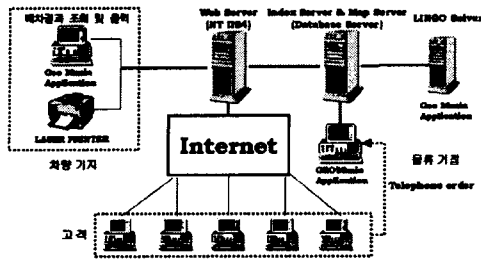
<그림3>을 보면 2 대의 차량이 기점을 출발하여 각 노드를 이동하면서 배달과 수거를 하는 값이 나타나 있다. 또 <그림3>에서 회색으로 나타내어지는 직사각형 모양은 배달과 수거제약시간의 공통영역을 나타낸 것이다. 결국 차량이 최소경로로 이동하기 위해서는 방문하는 노드에 대해서 이 공통영역 사이를 한번만 방문해야만 한다. 하지만, 제약 시간이 어떻게 정의되느냐에 따라 결과에서는 방문이 한번이상 이루어 질 수도 있다.

배달 및 수거 제약시간조건을 크게 세 가지로 구분하여서 결과를 구해보면, 제약시간이 상한과 하한 값 모두 주어지는 경우(Two side)와 하한값 EDT(Earliest Devery Time)만 주어진 경우, 그리고 상한값 LDT(Latest Devery Time)만 주어진 경우로 구분 할 수 있다. 각 경우 모두 전체변수의 수에는 영향을 미치지 않으나, 결과를 구하는 시간에서는 LDT의 경우가 가장 빨리 해를 구할 수 있었다. 여기서 경우 에 따라 Optimal Solution값이 다르게 나타날 수 있는데, 그 이유는 시간제약이 변함에 따라 차량의 최초이동가능경로가 달라짐에 따라서 전체 경로가 짧아지기 때문이다. 그리고 전체 변수 중 차량의 Flow에 관한 변수를 제외한 나머

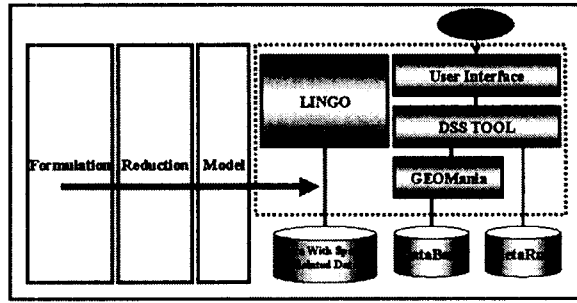
지 변수를 실수형으로 변환함에 따라 결과를 구하는 시간에 변화가 있음 알 수 있었다. 마지막으로 전체 변수를 모두 실수형으로 변환 한 후 해를 구할 경우 위 해를 구하는 시간이 크게 줄어드는 것을 볼 수 있었다.

5. 차량운행경로결정을 위한 의사결정지원시스템

이상의 연구를 기본으로 지리정보시스템과 통합한 차량운행경로결정 지원시스템을 구축하기 위한 개발 구성도<그림4>와 방법을 도식화<그림5>하면 아래와 같다.



<그림 4> 차량운행경로결정 지원시스템 개발모델 구성도



<그림 5> Application development flow

6. 결론 및 추후연구

본 연구에서는 현실적인 제약조건들을 고려하여 배달과 수거를 포함한 다품목 시간 제약 수송 차량 배차문제를 다루었다. 기존의 연구들이 발견적 해법을 이용하여 해를 구한 것과는 달리 위와 같이 복잡한 문제를 Time-space network를 이용하여 정수선형계획문제로 정식화 할 수 있었으며, 본 연구를 기본으로 지리정보시스템과 통합한 차량운행경로결정 지원시스템을 구축하기 위한 방법을 제시하였다. 추후연구과제로는 문제크기 확장에 따른 Solution 처리속도 개선과 LINGO MODEL의 Solution을 GIS MAP DATA로 변환하는 부분, 그리고 아직 본 연구에서 완성하지 못한 GDK(GEOMania Development Kit)를 이용한 Application 구축 부분의 진행이 필요할 것이다. 아울러 GIS Application의 수행도를 빠르게 하기 위해서는 LINGO의 공유 DATABASE로서 GeoMillennium DB Server와의 연계방안이 고려되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 조용철, 최민구, 이창호, 우편수송경로 결정을 위한 DSS Tool 개발, *안전경영과학회*, 2000.
- [2] Ali Haghani, Sei-Chang Oh, "Formulation and Solution of a Multi-Commodity, Multi-Modal Network Flow Model For Disaster Relief Operations", *Trans. Res.-A*, Vol 30, NO. 3, pp. 231-250, 1996.
- [3] Clark G. and wright J., Sceduling of Vehicles from a Central Depot to a number of Delivery points, *Operations Research*, Vol 12, pp. 568-581, 1964.
- [4] Dantzig, G. B. and J. H. Ramser, The Truck dispatching Problem, *Management science*, Vol. 6, pp.80-91, 1959.
- [5] Lindo systems, *Optimization Modeling with LINGO*, Lindo systems, 1999.