

CVO 환경을 고려한 차량 및 화물 운송 최적 모델

Freight and Fleet Optimization Models under CVO Environment

최경현* · 편재범* · 곽호만*

Abstract

In this paper, we propose a freight and fleet optimization model under CVO environment. The model is a kind of multi commodity network flow model based on Vehicle Routing Problem(VRP) and Vehicle Scheduling Problem(VSP), and considering operations and purposes of CVO. The main purpose of CVO is the freight and fleet management to reduce logistics cost and to improve in vehicle safety. Thus, the objective of this model is to minimize routing cost of all the vehicle and to find the location of commodities which have origin and destination. We also present some computing test results.

제 1 장 서 론

우리나라는 미국이나 일본과 같은 선진국에 비해 높은 물류 비용을 감당하고 있는 실정이다. 우리나라 기업의 물류비용의 증가 추세는 미국의 7~8%, 일본의 10% 내외, 유럽의 10~13%보다 훨씬 많은 16~17%에 이르고 있고 정부는 물류비용 절감을 위한 노력의 일환으로 96년부터 ITS(Intelligent Transport System)사업을 추진하고 있다. 본 연구에서는 ITS의 서브시스템 중 하나인 CVO(Commercial Vehicle Operation) 환경을 고려하여 CVO의 기능과 목적에 부합되는 수리적인 모델을 제안하고 이를 검증하기 위해 몇 가지 모델 테스트를 제시한다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저 ITS와 CVO의 기능, 구성 요소 및 목적에 대해서 살펴보았고, 또한 본 연구의 기본바탕이 되었던 VRP, VSP 관련 연구에 대해서 살펴보았다. 2장은 해결하려는 문제에 대한 문제 배경에 대한 기술과 이를 해결하기 위한 모델을 제안하였다. 3장에서는 제안하는 수리 모델을 구현한 실험 결과를 보이고 있으며 끝으로 4장에서는 본 연구의 결론 및 추후 연구과제를 언급한다.

첨단화물 운송시스템 (CVO: Commercial Vehicle Operation)은 지능형 교통시스템 (ITS: Intelligent Transport System)의 한 부분으로서 상업용 차량과 차량군의 운행시 안전도와 효율성을 향상시키기 위해 다양한 정보통신기술을 적용하는 시스템을 의미한다.

첨단화물운송시스템 (CVO)은 효율적인 화물 및 차량관리를 통해 생산성 향상을 도모하고, 특히 위험화물 및 위험물 적재차량을 추적, 감시하고 돌발상황 발생시 조난신호를 자동적으로 발신하게 하여 신속한 사고처리체계를 구축하여 교통체계의 안전성 향상을 도모하게 된다. 본 연구에서는 CVO의 서비스 기능 중 화물 및 화물차량관리 시스템 (FFMS: Freight and Fleet Management System)에 대해서 그 초점을 맞추고 있다.

화물 및 화물차량관리 시스템 (FFMS)의 목적은 화물과 화물 차량에 대한 실시간 위치

* 한양대학교 산업공학과

추적 정보를 바탕으로 운영센터의 중계에 의한 운송회사, 화주, 공공기관, 알선업체 등 관련 주체들 간의 상호교신을 통해 현재 화물과 차량의 위치, 업무수행 현황 파악, 긴급 업무지시 등 화물 및 차량의 효율적인 운영 및 관리를 도모하는데 있다.

제안하고자 하는 수리모델은 VRP 및 VSP 문제에 대한 수리모델을 바탕으로 이루어져 있다. 기존에 발표되었던 여러 논문에서 다양한 환경의 VRP, VSP 수리 모델을 살펴봄으로써 본 연구에서 제안하는 수리 모델 수립에 참고가 되었다. Ariside Mingozzi et al. (1999)는 두 종류로 분리된 고객의 최적 서비스를 위한 VRP 모델을 제안한 바 있다. Gulay Barbarosoglu와 Demet Ozgur (1999)는 각각의 공장에 대해 single-depot VRP 문제를 해결하는 수리 모델을 제안한 바 있고, Richard Freling et al. (2001)는 짝지어진 location 간의 traveling 시간을 고려한 single-depot VSP에 대한 수리모델을 제안한 바 있다. 본 연구에서 해결하려는 문제는 화물운송 회사의 트럭 scheduling 및 routing 을 해결하는 문제이다. 그림 1과 같이 5개의 지역(node)이 설정되어 있고 이 지역을 연결하는 도로망(arc)과 도로망을 이용하는 차량의 이동거리(비용)이 표시되어 있다. 차량은 각각의 지역에 다음과 같이 배치되어있고, 각 지역에는 목적지가 정해져있는 운송화물 정보가 주어져있다. 모든 commodity를 해당 지역에 모두 운송해야 하고 화물 차량의 이동 비용을 최소화하면서 운송 화물과 차량의 위치를 파악하는 것이 목적이다. 여기서 우리는 차량의 최초 위치를 수리적으로 표현하고, 수요와 공급의 명확한 파악을 위해서 각 노드를 수요를 담당하는 노드와 공급을 담당하는 노드로 분리하고 가상의 depot O를 추가하여 생각하게 되었다. 변형된 모델은 그림 2와 같다. 변형된 모델을 그림 1의 모델과 비교 설명하면 아래와 같다. 각 노드를 수요를 담당하는 노드와 공급을 담당하는 노드로 구분하고 차량은 최초 가상의 depot O에 위치한다고 가정하고 모든 차량은 + 노드에서 들어오고 - 노드로 움직인다. 그림 2의 모델이 그림 1의 모델과 같은 의미를 가지는 모델이 되려면 몇 가지 가정이 필요하게 된다. 이 가정을 나열하여 보면 다음과 같다.

첫째, 가상 depot O에서 노드로 나가는 이동 비용은 0 이다.

둘째, 차량 이동은 + 노드에서 - 노드로 이루어진다. 각 노드에서는 -노드로 들어온 차량이 추가적 이동 비용없이 해당 +노드에서 출발한다.

셋째, 동일 index의 - 노드 에서 + 노드로 이동하는 비용은 0 이다.

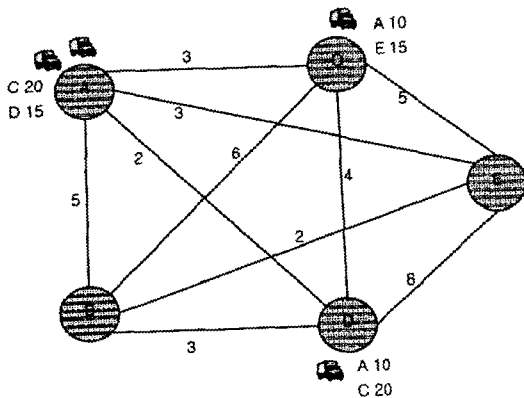


그림 1. 제안하는 모델의 예

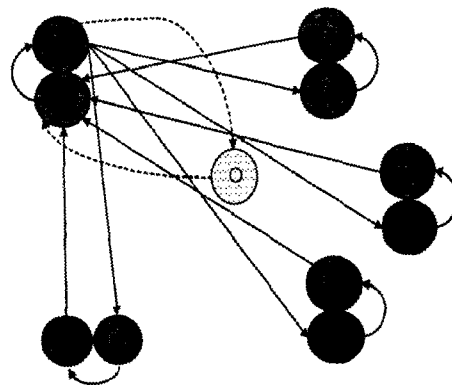


그림 2. 제안하는 모델의 변형

이러한 가정을 통해 그림 1과 그림 2의 모델은 서로 같은 의미의 모델이 될 수 있다.

제 2 장 Multi-Commodity Vehicle Scheduling Problem

본 수리모델은 목적지가 결정되어 있는 여러 commodity를 운송하면서 그 때 운송하는 차량과 commodity의 위치 및 운송량을 파악하는 것이기에 Multi Commodity Vehicle Scheduling Problem (MCVSP) 이라고 부른다.

앞서 정의한 그림 2와 같은 모델은 $G=(V, A)$ 의 directed graph로 정의된다. 여기서 $V=O \cup N$ 로 O 는 가상 depot을, N 은 각 노드를 나타낸다. 다시 N 은 공급 담당 노드와 수요 담당 노드로 나누어 $N=N^+ \cup N^-$ 로 정의하겠다. N^+ 는 공급을 담당하는 노드, N^- 는 수요를 담당하는 노드를 나타낸다. 앞서 살펴본 가정 2의 규칙에 의해서 가상 depot O 도 차량이 나가는 가상 depot는 O^+ 로, 차량이 들어오는 가상 depot O 는 O^- 로 구분하겠다. 따라서 차량이 나가는 노드는 $V^+ = N^+ \cup O^+$, 차량이 들어오는 노드는 $V^- = N^- \cup O^-$ 로 정의할 수 있다.

본 연구에서 제안하는 수리 모델을 수립하기 위해 필요한 변수 및 파라미터는 다음과 같다.

Decision Variables

- $x_{(i,j)k}^v$: 차량 v 가 arc (i, j) 를 이용해서 운송하는 commodity k 의 양
- u_{ij}^v : 차량 v 가 arc (i, j) 를 이용해서 이동여부에 대한 이진변수

Parameters

- c_{ij} : 차량이 arc (i, j) 를 이동하는 비용 (거리)
- $k=(i, j)$: 공급지 i , 도착지 j 의 commodity
- K : commodity의 집합
- d_k : 운송해야 하는 commodity k 의 양
- Q_v : 차량의 제한 용량
- S : 차량 v 가 하루 동안 이동할 수 있는 제한 거리
- V_i : 노드 O 에서 노드 i 로 이동하는 차량 수
- M = 충분히 큰 수

이러한 결정 변수와 파라미터를 이용해 본 연구에서 제안하고자 하는 MCVSP 수리 모델은 다음과 같다.

MCVSP :

$$\text{Minimize } z = \sum_{v \in V} \sum_{i \in N^+} \sum_{j \in N^-} c_{ij} u_{ij}^v$$

Subject to

$$\sum_v \sum_{j \in N^+ \setminus \{i^-\}} x_{(i,j)k}^v = d_k \quad \forall i \in N^+, \forall k \in K \quad (1)$$

$$\sum_v \sum_{j \in N^+ \setminus \{i^+\}} x_{(i,j)k}^v = d_k \quad \forall i \in N^-, \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_v \sum_{j \in N^+ \setminus \{i^-\}} x_{(i,j)k}^v - \sum_v \sum_{\ell \in N^+ \setminus \{i^+\}} x_{(\ell,i)k}^v = 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N^+ \setminus \{i^+\}} u_{ji}^v - \sum_{\ell \in N^+ \setminus \{i^-\}} u_{i\ell}^v = 0 \quad \forall i \in N, \forall v \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N^+} u_{0^+j}^v = 1 \quad \forall v \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N^+} u_{j0^+}^v = 1 \quad \forall v \quad (6)$$

$$\sum_v u_{0^+i}^v = V_i \quad \forall i \in N^+ \quad (7)$$

$$\sum_v \sum_{i \in N^+} u_{0^+i}^v = \sum_v \sum_{j \in N^+} u_{j,0^+}^v \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K} x_{(i,j)k}^v \leq Q_v \quad \forall i \in N^+, \forall j \in N^-, i \neq j, \forall v \in V \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K} x_{(i,j)k}^v \leq M u_{ij}^v \quad \forall i \in N^+, \forall j \in N^-, i \neq j, \forall v \in V \quad (10)$$

$$\sum_{i \in N^+} \sum_{j \in N^+} c_{ij} u_{ij}^v \leq S \quad \forall v \quad (11)$$

$$u \in \{0, 1\} \quad (12)$$

$$x \geq 0 \quad (13)$$

목적함수 (1)은 모든 차량의 이동 비용의 합을 최소화함을 의미한다. 제약식 (1), (2), (3)은 workflow conservation rule을 만족시키는 식이고, 제약식(4)부터 (8)은 차량 이동에 관련된 제약식이다. 제약식 (9)는 운반하는 화물 용량이 차량의 적재 용량을 넘을 수 없다는 의미의 식이고, 제약식 (10)은 차량의 사용 여부에 대한 제약식이다. 제약식 (11)은 차량의 최대 이동 가능 거리에 대한 제약을 나타낸다.

제 3 장 실험 결과

본 장에서는 제안한 수리모델을 이용하여 몇 가지 수치 데이터를 입력한 실험 결과를 제시하겠다. 실험 환경은 UNIX sun ultra 10 시스템 환경에서 AMPL 모델링 툴을 이용한 CPLEX 6.6.0 버전으로 실험을 했다.

3.1 실험 문제 (1)

데이터 입력 내용은 다음과 같다. 모델은 그림 1의 모델을 이용하였다. 차량은 4대로 설정하였고 차량용량은 동일하게 입력하였으며, 차량 이동 제한을 두었다. 각 commodity의 데이터는 표 1과 같다.

표 1. 실험 문제 (1)의 commodity 데이터

Origin	A		C		D	
Destination	C	D	A	E	A	C
Quantity	20	15	10	15	10	20

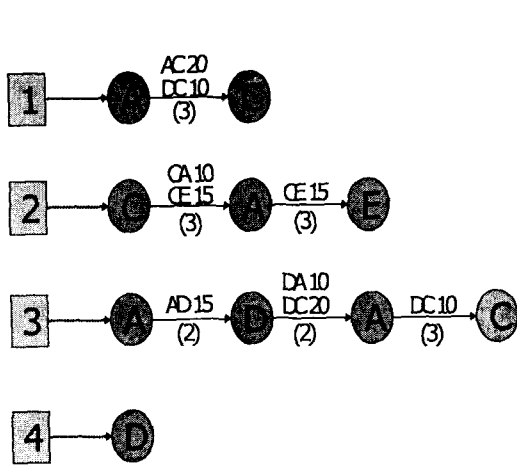


그림 3. 실험 문제 (1) 결과

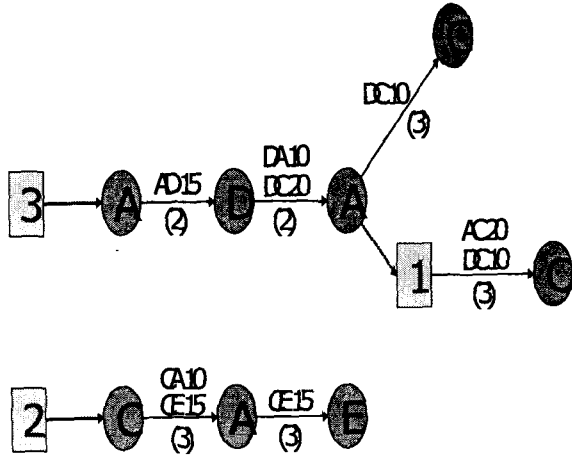


그림 4. 실험 문제 (1) 결과 종합

이 문제는 592개의 변수와 226개의 제약식으로 구성되어지고 computing 시간은 191.9초가 걸렸다. 실험 결과는 다음과 같은 결과와 같은 정보를 유추할 수 있는 데이터로 산출이 되게 된다. 실험데이터결과를 도식화해보면 그림 3과 같이 도식 할 수 있겠다. 그림 3은 차량 별 routing 및 commodity량을 나타낸 것이다. 사각형 안의 숫자는 차량의 번호를, 원안의 알파벳은 각 노드를, 괄호 안의 숫자는 차량의 이동 비용을 나타낸다. 예를 들어 차량 3의 경우 차량 routing은 다음과 같이 구성되어지고, 그 때 운송하는 commodity량은 도식한 바와 같다. 최초 차량은 그림 1에서 나타냈듯이 A 노드에 2대, C 노드에 1대, D 노드에 1대가 배치되어져 있고, 이 실험의 최소 차량 이동 비용은 16임을 알 수 있다. 이 결과를 종합하면 그림 4와 같이 나타낼 수 있다.

3.2 실험 문제 (2)

실험 문제 2의 데이터 입력 내용은 다음과 같다. 이 실험은 노드 7개의 환경을 고려한 모델을 이용하였다. 차량은 9대로 설정하였고 차량용량은 서로 상이하게 입력하였다. 차량 1,2,5는 60으로, 3과4는 50으로, 나머지는 30의 용량으로 입력하였고 차량 이동 제한을 두었다. 이 문제는 3141개의 변수와 902개의 제약으로 구성되어지고 computing 시간은 13345.9초가 걸렸다. 각 commodity의 데이터는 표 2와 같다. 이 경우는 여러 대의 차량이 있고, 소량의 화물이 여러 곳에 운송되어야 할 경우 얼마만큼의 최소 차량을 이용하여 모든 화물을 운송할 수 있는지 확인할 수 있는 실험이다. 그림 4와 같이 실험 (2)의 결과를 도식하면 그림 5와 같다. 이 때의 차량 이동 비용은 16임을

알 수 있다.

표 2. 실험 문제 (2)의 commodity 데이터

Origin	A	C		D	F		G
Destination	B	A	G	B	E	D	D
Quantity	15	10	15	15	20	10	10

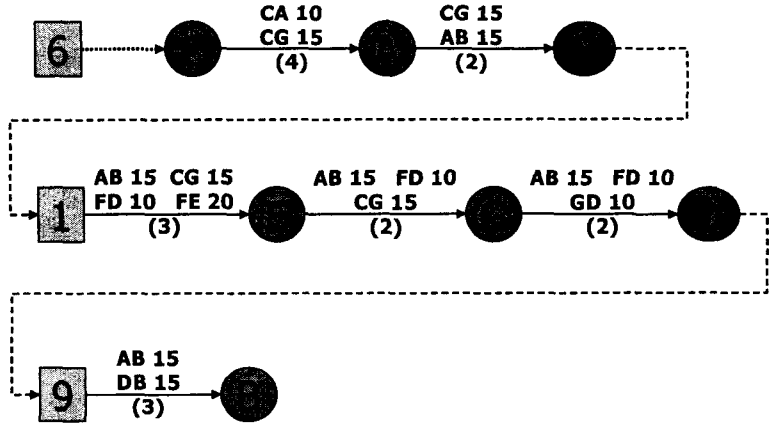


그림 5. 실험 문제 (2) 결과 종합

제 4 장 결론 및 추후 연구 과제

본 연구에서는 CVO 환경을 고려한 새로운 수리 모델을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 수리 모델은 차량 이동 비용을 최소화하면서 차량의 이동, 화물의 위치 정보를 동시에 파악 가능한 모델이다. 특수한 환경을 고려한 데이터 입력을 통해 다양한 문제에 대한 접근이 용이하다. 예를 들어 택배회사의 제품 운송 차량의 스케줄링 또는 우편 업무에 이용되는 차량의 스케줄링이 가능하다고 하겠다. 추후 연구과제로는 현재 모델은 1-day 환경의 모델로서 이 모델을 multi-period 환경의 모델로 확장하여 주별 단위의 차량 스케줄링 및 운송commodity의 위치를 추적, 예측 가능할 수 있겠다. 또한 시간대 개념을 추가하여 시간대 별 차량 및 화물의 위치를 파악 가능한 모델로 발전시킴으로써 실제 환경에 좀 더 접근 가능한 모델로 발전할 수 있다. 또한 현재 문제는 모델링 틀을 이용한 CPLEX의 정수계획법 모듈로 해결하였기 때문에 앞서 본 바와 같이 computing 시간이 많이 걸리게 된다. 따라서 Large Scale 정수계획법 알고리즘 개발을 통해 computing 시간의 개선이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

[1] 안승범, 변의석; “첨단화물운송시스템(CVO)의 구성과 관련기술”, *산업공학 회지*, 11(1): 41-53, 1998.
 [2] 이인원 외; “지능형 교통시스템 기본계획(안) 수립을 위한 화물운송 시스템 연구”, 대한 교통학회 · 교통개발연구원 2단계 최종보고서, 8권: 3-48, 1996.

- [3] Baldacci, R., Giorgi, S., and Mingozzi, A.; "An Exact Method for the Vehicle Routing Problem with Backhauls", *Transportation Science*, 33(3): 315-329, 1999.
- [4] Barbarosoglu, G., Ozgur, D.; "A Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem", *Computers & Operations Research*, 26 : 255-270, 1999.
- [5] Freling, R., Wagelmans, A., and Paixao, J.; "Models and Algorithms for Single-Depot Vehicle Scheduling", *Transportation Science*, 35(2): 165-180, 2001.