

예산 제약을 고려한 다용량 복수 순회구매자 문제

최명진* · 이상헌*†

Heterogeneous Multiple Traveling Purchaser Problem with Budget Constraint

Myung-Jin Choi* · Sang-Heon Lee*

■ Abstract ■

In the last decade, traveling purchaser problem (TPP) has received some attention of the researchers in the operational research area. TPP is a generalization of the well-known traveling salesman problem (TSP), which has many real-world applications such as purchasing the required raw materials for the manufacturing factories and the scheduling of a set of jobs over some machines, and many others. In this paper we suggest heterogeneous multiple traveling purchaser problem with budget constraint (HMTTP-B) which looks for several cycles starting at and ending to the depot and visiting a subset at a minimum traveling cost and such that the demand for each product is satisfied and the cost spent for purchasing the products does not exceed a given budget threshold. All the past studies of TPP are restricted on a single purchaser. Therefore we randomly generated some instances. CPLEX is used for getting optimal solutions in these experiments.

Keyword : Multiple Traveling Purchaser Problem, Budget Constraint, Supply Chain Management, Inbound Logistics Optimization

논문접수일 : 2009년 10월 26일 논문게재확정일 : 2010년 02월 11일
논문수정일(1차 : 2010년 01월 07일)

* 국방대학교 운영분석학과

† 교신저자

1. 서 론

오늘날의 시장 환경은 저비용으로 고품질의 제품을 신속하게 고객에게 제공하는 기업이 경쟁력을 가지게 되어 공급사슬(supply chain) 내의 복잡한 비즈니스 프로세스와 네트워크, 구성원에 대한 효율적 관리능력에 따라 기업의 성패가 좌우되게 되었다(Drucker, 1998; Lambert et al., 1998). 이러한 배경에서 출발한 공급사슬관리(SCM, supply chain management)는 고객 서비스 수준을 만족시키면서 시스템 전반적인 비용을 최소화할 수 있도록 제품이 적절한 수량으로 적절한 시간과 장소에 생산과 유통이 가능하도록 공급자, 제조업자, 창고 보관업자, 소매상들을 효율적으로 종합하는데 이용되는 일련의 접근법으로 정의된다(Simchi-Levi et al., 2003). 일반적으로 공급사슬 프로세스는 조달물류(inbound logistics)와 유통물류(outbound logistics)의 두 가지 프로세스로 구성된다(Min and Zhou, 2002). 조달물류는 자재취급, 관리와 같은 원자재와 부품의 획득(구매)과 저장, 생산에 관련되는 프로세스이며(Johnson and Malucci, 1999) 유통물류는 공급사슬 구성원에게 완제품과 서비스를 제공하는 프로세스이다(Bowersox and Closs, 1996).

SCM의 최적화 대상중 유통물류에 대해서는 Danzig and Ramser(1959)가 VRP(vehicle routing problem)의 표준 형태를 제안한 이래 현실적인 고려요소의 적용에 따른 다양한 파생 문제들이 연구된바 있다. 고객의 서비스요구 하한시간과 상한시간을 고려하는 VRPTW(VRP with time window), 복수 차고지를 고려하는 MDVRP(Multi-Depot VRP), 배송과 수거를 동시에 고려하는 PDVRP(Pick up and Delivery VRP), 상이한 차량의 적재용량을 반영한 HVRP(Heterogeneous VRP), 차량운용 계획기간을 다기간으로 확장한 PVRP(Periodic VRP), 그리고 수요 및 이동시간 등이 확률적으로 주어지는 SVRP(Stochastic VRP) 등이 그것이다.

한편 SCM의 또 다른 주요 이슈(issue)중 하나인 조달물류 분야에 있어서는 그 연구성과가 VRP를 중

심으로한 유통물류에 비해 상당히 미미한 실정이다. 완제품 생산을 위한 원자재(raw material)나 부품(part)의 구매에 관련한 조달물류 최적화 모형으로 TPP(traveling purchaser problem)가 Ramesh (1981)에 의해 최초로 제안된 바 있다. 이후 현재에 이르기까지 약 30여년 간 TPP에 대한 연구는 꾸준히 진행되었으나 현실문제 적용에 있어서는 제한사항이 많다. 가장 큰 이유는 기존의 TPP 관련연구가 모두 단일 구매자에 국한되기 때문이다. 본 연구는 이러한 TPP의 제한사항을 극복하기 위해 복수 구매자(차량) 및 차량의 상이한 용량제약을 고려하여 현실문제 적용을 위해 기존 TPP를 일반화하였다.

TPP는 다음과 같이 정의된다. 구매해야할 n 개의 제품(product)집합이 존재하고 각 제품들은 구매요구량이 있으며 구매자는 최초로 차고지에 위치한다. 또한 하나 이상의 제품을 특정 수량 만큼 판매하는 m 개의 매장(market)집합이 존재하고 제품의 가격은 해당 제품을 판매하는 매장에 달려있으며 차고지와 각 매장들 간의 이동비용(travel cost)은 사전에 알려져 있다. 이 때, TPP는 각 제품의 구매요구량을 충족하면서 전체 구매비용과 이동비용을 최소화하는 선택된 매장의 경로를 결정하는 문제로 정의된다. 가정 사항으로 각 제품은 최소한 하나 이상의 매장에서 구매 가능하여야 하고 차고지에서는 어떠한 제품도 구매할 수 없으며 모든 제품의 구매요구량은 반드시 충족되어야 한다. 이때 특정 제품을 판매하는 매장에서 해당 제품의 구매요구량을 모두 만족할 수 있는 경우의 문제를 UTPP(uncapacitated TPP, unlimited TPP, unrestricted TPP)라 하고 한 매장에서 구매요구량을 충족할 수 없어 다른 매장에서 요구량의 잔여분을 구매하는 즉 분할 구매가 필요한 경우의 문제를 CTPP(capacitated TPP, limited TPP, restricted TPP)라 한다. TPP는 NP-hard 문제로 이는 잘 알려진 대표적 NP-hard 문제인 TSP(traveling salesman problem)가 각 제품이 오직 하나의 매장에서만 구매가능하고 각 매장이 오직 하나의 제품만을 판매하는 경우를 가정한 TPP의 특별한 형태이기 때문이다.

완제품의 생산계획에 따라 제품생산에 필요한 자재를 적시적소에 조달하기 위한 MRP(material requirement planning) 수립단계에서는 다양한 원자재를 최소의 비용으로 획득하기 위한 조달물류 최적화가 반드시 필요하다. 특히 정보기술(Information Technology)의 발전과 더불어 경영혁신 기법이 MRP에서 MRP-II(manufacturing resource planning), MRP II에서 ERP(enterprise resource planning), ERP에서 SCM과 맥을 같이하는 확장형 ERP(extended ERP)로 발전하고 있는 추세를 감안했을 때 인사, 회계, 영업, 판매 등과 더불어 기업 기능의 중요한 축을 형성하는 구매 부문에 대한 관심은 기업 경쟁력 제고 측면에서 간과할 수 없는 부분이다. 이러한 측면에서 현실문제 적용을 위해 기존의 TPP를 일반화하여 용량이 상이한 복수 구매자를 고려하는 다용량 복수 순회구매자 문제의 연구 필요성이 요구된다.

본 연구에서는 Mansini and Tocchella(2009)가 제안한 물품구매 예산 제약하에서 이동비용을 최소화하는 문제인 TPP-B(traveling purchaser problem with budget constraint)에 다용량 복수 구매자를 고려하여 이를 일반화한 HMTTP-B(heterogeneous multiple traveling purchaser problem with budget constraint)를 제시한다. 제 2장에서 기존연구를 고찰하고 제 3장에서 HMTTP-B의 수리모형을 제시하며 제 4장에서 실험을 다루고, 제 5장에서 결론과 향후 연구 과제를 제시한다.

2. 기존연구 고찰

지금까지 수행된 TPP 관련연구를 정리하면 <표 1>과 같다.

최초의 TPP 형태는 Burstall(1966), Buzacott and Dutta(1971)의 작업 스케줄링(job scheduling) 연구에서 최초로 나타난다. 그러나 현재에 알려진 TPP는 Ramesh(1981)에 의해 제안된 것으로 UTPP에 관련된 것이다. 그 후 UTPP에 대해 Golden et al. (1981), Ong(1982), Voß(1996), Singh and Oudheu-

sden(1997), Pearn and Chien(1998), Laporte et al. (2003), Boctor et al.(2003), Teeninga and Volgenant(2004), Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a), Riera-Ledesma and Salazar-González(2005b), Bontoux and Feillet(2008), Goldberg et al.(2008), Mansini and Tocchella(2009) 등이 다양한 최적해 알고리즘 및 휴리스틱 알고리즘 개발에 대한 연구를 수행하였다.

<표 1> 기존 TPP 관련연구

관련 연구	유형			구매자 수	
	Capacity		변형	단수	복수
	Uncapa.	Capa.			
Ramesh(1981)	○			○	
Golden et al.(1981)	○			○	
Ong(1982)	○			○	
Voß(1996)	○			○	
Singh and Oudheusden(1997)	○			○	
Pearn and Chien(1998)	○			○	
Laporte et al.(2003)	○			○	
Boctor et al.(2003)	○		○	○	
Teeninga and Volgenant(2004)	○			○	
Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a)	○		○	○	
Riera-Ledesma and Salazar-González(2005b)	○		2-TPP	○	
Bontoux and Feillet(2008)	○			○	
Goldberg et al.(2008)	○		○	○	
Angelesli et al.(2008)			○ D-TPP	○	
Mansini and Tocchella (2009)	○		○ TPP-B	○	
This study	○		○ HMTTP-B		○

UTPP에만 국한되었던 기존의 연구를 발전시켜 Laporte et al.(2003)은 최초로 CTPP에 대한 연구를 수행하였다. 이는 구매해야할 품목의 수량이 적을 경우에는 UTPP 모형만으로도 수요를 충족 가능하지만 수량이 많을 경우 여러 매장에서 분할 구

매를 해야하는 현실적 고려사항을 반영하기 위함이다. CTPP 관련 연구는 Laporte et al.(2003) 이후로 Boctor et al.(2003), Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a), Goldberg et al.(2008), Mansini and Tocchella(2009) 등에 의해 지속적으로 수행되어 다수의 최적해 및 휴리스틱 알고리즘이 개발 및 발전되어 왔다.

특히 최근에 들어서는 기본적 UTPP 및 CTPP의 모형에 여러 가지 현실적 고려사항을 반영한 변형된 형태의 TPP 연구가 수행되는 추세이다. Riera-Ledesma and Salazar-González(2005b)는 구매비용과 이동비용이 결합된 TPP의 목적함수에서 두 비용요소의 상이한 속성으로 인해 구매비용의 감소는 이동비용의 증가를 초래할 수 있다는 문제를 보완하기 위해 이중목적 TPP(2-TPP, biobjective TPP)를 제안하였다. 2-TPP는 구매비용과 이동비용의 최소화를 두 개의 분리된 목적으로 간주하고 하나의 비용함수에 한계(bound)를 설정하면서 다른 비용함수에 대한 해를 구하여 의사결정 공간(decision space)에서의 파레토 최적해(pareto optimal solution)를 계산함으로써 두 비용요소간의 균형(trade-off)에 대한 통찰(insight)을 제공한다.

Angelelli et al.(2008)은 단일 기간만을 고려하는 기존 연구와 달리 시간의 흐름에 따라 매장에서 판매하는 제품의 수량(quantity)이 감소함을 가정하는 D-TPP(dynamic TPP)를 제안하였다. 기존의 연구들이 확정적(deterministic)이고 정적(static)인 상황을 가정한 문제인 반면 D-TPP는 시간의 흐름에 따라 시스템의 환경이 변화하는 확률적(stochastic) 상황에서의 TPP라 할 수 있다. D-TPP에서 경로 구성과 제품 구매를 위한 모든 관련 정보는 사전에 알려져 있지 않고 시간의 흐름에 따라 제공된다. 즉 동적인 사건이 발생하면 시스템의 새로운 정보가 의사 결정자에게 제공된다는 것으로 특정 제품의 수량이 감소하면 의사결정자는 즉시 감소된 수량과 감소가 발생한 매장의 정보를 획득하게 된다. Angelelli et al.(2008)은 이러한 상황 하에서 이동비용과 구매비용을 최소화하면서 모든 제품의 구매요구량

을 충족하는 것을 목표로 하여 연구를 수행한 바 있다.

Mansini and Tocchella(2009)는 목적함수 내에 이동비용과 구매비용이 동시에 고려되었던 기존의 TPP 연구와 차별화하여 TPP-B를 제안하였다. TPP-B는 기존의 UTPP 및 CTPP와 유사한 구조이나 목적함수가 이동비용 최소화이고 총 구매비용의 한계치는 제약식 내에 설정된다.

본 연구는 Mansini and Tocchella(2009)의 TPP-B에 적재용량이 상이한 v 명의 구매자(차량)를 반영한 문제인 HMTTP-B를 다룬다. 단 차고지 수가 1인 단일 차고지를 고려하였으며 차량 운영에 따른 변동비와 고정비를 반영하여 현실성을 높였다. 또한 차고지에서 보유한 차량의 대수는 유한한 것으로 가정한다. 이는 VRP 등 TPP와 유사한 경로문제에서 대부분의 연구가 차량 보유대수가 무한대임을 가정하여 현실성이 결여된다고 판단했기 때문이다. 현실 문제에 있어 시스템 내 보유한 차량의 대수 및 용량이 전체 수요량을 충족하지 못한다면 구매 불가능한 품목이 발생 가능한 것이 실제적인 현상이다. 단 본 연구의 실험에서는 품목별 전체 수요량을 충족 가능한 차량의 대수 및 용량을 설정하고 설정된 차량은 모두 운행되는 것으로 가정한다.

3. 수리모형

3.1 모형개요 및 가정사항

Mansini and Tocchella(2009)가 제시한 TPP-B의 수리모형은 그래프 이론(graph theory)을 적용하여 노드간 이동거리가 대칭이나 비대칭이나에 따라 표기방식이 상이하더라도 까다롭기 때문에 본 연구에서는 이동거리의 대칭성 유무에 영향을 받지 않는 3첨차(three-index) 방식을 적용하여 수리모형을 구성한다. 본 연구에서 제시하는 HMTTP-B는 단일 차고지에 적재용량이 상이한 v 대의 차량이 존재하고 각 차량은 차고지에서 출발 및 복귀하며 제품구매에 대한 제한된 예산 범위 내에서 n 가지 제품의 구매

요구량을 충족하면서 차량 운행에 따른 변동비와 고정비를 최소화하는 문제이다. 수리모형 구축을 위한 가정사항은 다음과 같다.

- 단일 차고지에 v 대의 차량이 존재한다.
- 각 차량의 출발 및 종착은 단일 차고지에서만 이루어진다.
- 차량의 매장 방문은 1회만 허용되며 각 차량경로에 포함된 매장에서의 구매제품은 해당 차량에 의해 차고지로 운송된다.
- 각 제품은 최소한 하나 이상의 매장에서 구매 가능하고 차고지에서는 어떠한 제품도 구매할 수 없다.
- 모든 제품의 구매요구량 d_l 은 반드시 충족되어야 한다.
- 제품을 구매하지 않는 매장은 방문하지 않는다. 즉, 제품의 구매요구량만 충족된다면 모든 매장을 다 방문할 필요는 없다.
- 차량은 구매(적재) 가능 용량에 대한 제약이 있고 운영된 차량에 대해 변동비와 고정비가 발생한다.
- 차량의 적재 용량은 차종별로 상이하다.

3.2 Capacitated HMTTP-B

본 절에서는 매장에서의 구매용량에 제한이 있어 특정 제품에 대해 다수의 매장에서 분할 구매를 해야 하는 경우의 문제인 CHMTTP-B(capacitated HMTTP-B)의 수리모형을 제시한다.

3.2.1 Notation

- m : i 로 색인(index)되는 매장의 수, $i \in M = \{1, \dots, m\}$, $i = 1$: depot
- n : l 로 색인되는 제품의 수, $l \in N = \{1, \dots, n\}$
- v : k 로 색인되는 차량의 수, $k \in V = \{1, \dots, v\}$
- b_{il} : 매장 i 에서 판매하는 제품 l 의 가격
- c_{ij} : 매장 i 에서 매장 j 로의 이동비용, $j \in M$, $j = 1$: depot

- d_l : 제품 l 의 구매요구량
- q_{il} : 매장 i 에서 구매 가능한 제품 l 의 수량
- g_k : 차량 k 의 적재용량
- α_k : 차종별 변동비 비율
- β_k : 차종별 고정비
- B : 물품 구매를 위한 가용 예산

3.2.2 Decision variable

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{차량 } k \text{가 매장 } i \text{ 방문후 잇따라 } j \\ & \text{방문시} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

y_{ikl} : 차량 k 가 매장 i 에서 구매한 제품 l 의 수량

$$\min \sum_{i \in M} \sum_{j \in M} (c_{ij} \sum_{k \in V} \alpha_k x_{ijk}) + \sum_{j \in M \setminus \{1\}} \sum_{k \in V} \beta_k x_{1jk} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{i \in M} \sum_{k \in V} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall j \in M \setminus \{1\} \quad (2)$$

$$\sum_{i \in M} x_{ihk} - \sum_{j \in M} x_{jhk} = 0 \quad \forall h \in M, \forall k \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j \in M \setminus \{1\}} x_{1jk} = 1 \quad \forall k \in V \quad (4)$$

$$\sum_{k \in V} x_{iik} = 0 \quad \forall i \in M \setminus \{1\} \quad (5)$$

$$u_i - u_j + m \sum_{k \in V} x_{ijk} \leq m - 1 \quad \forall i \in M, \forall j \in M, 2 \leq i \neq j \leq m \quad (6)$$

u_i, u_j : arbitrary

$$\sum_{i \in M \setminus \{1\}} \sum_{l \in N} (b_{il} \sum_{k \in V} y_{ikl}) \leq B \quad (7)$$

$$\sum_{i \in M \setminus \{1\}} \sum_{k \in V} y_{ikl} = d_l \quad \forall l \in N \quad (8)$$

$$q_{il} \sum_{j \in M} x_{ijk} - y_{ikl} \geq 0 \quad \forall i \in M \setminus \{1\}, \forall k \in V, \forall l \in N \quad (9)$$

$$q_{il} \sum_{j \in M} x_{jik} - y_{ikl} \geq 0 \quad \forall i \in M \setminus \{1\}, \forall k \in V, \forall l \in N \quad (10)$$

$$\sum_{i \in M \setminus \{1\}} \sum_{l \in N} y_{ikl} \leq g_k \quad \forall k \in V \quad (11)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in M, \forall j \in M, \forall k \in V \quad (12)$$

$$y_{ikl} \geq 0 \quad \forall i \in M \setminus \{1\}, \forall k \in V, \forall l \in N \quad (13)$$

위 수리모형의 목적함수식 (1)은 차종별 변동비가 반영된 총 이동비용 및 차량운행에 따른 고정비의 합을 최소화한다는 의미이다. 식 (2)는 모든 매장은 한 번 이상 방문될 수 없다는 의미이다. 식 (3)

은 차량 흐름의 연속성을 나타낸다. 식 (4)는 모든 차량은 차고지에서 1회만 나갈 수 있다는 의미이다. 식 (5)는 동일 매장에서 이동은 방지하는 제약식이다. 식 (6)은 Miller et al.(1960)이 제시한 TSP에서의 부분경로 방지 제약식(SECs, subtour elimination constraints)의 확장된 형태로 HMTTP-B에서도 동일하게 적용된다. 식 (7)은 제품구매를 위한 가용 예산의 제약을 나타낸다. 식 (8)은 모든 제품은 정확히 요구수량 만큼만 구매되어야 한다는 의미이다. 식 (9), 식 (10)은 특정 매장을 포함하는 경로가 해에 포함이 되어야 해당 매장에서 제품 구매가 가능하고 제품 보유량이 있어야 구매 가능하며 구매 가능한 수량은 해당 매장의 보유량을 초과할 수 없다는 의미이다. 식 (11)은 차종별 적재 용량 제약을 나타낸다. 식 (12), 식 (13)은 결정변수의 조건이다.

3.3 Uncapacitated HMTTP-B

매장에서의 구매용량에 제한이 없는 UHMTTP-B(Uncapacitated HMTTP-B)의 경우 제 3.2절의 용량 제한이 있는 문제와 동일한 표기(notation)를 사용 가능하나 결정변수 y_{ikl} 만은 아래와 같이 이진형(binary) 변수로 전환해야 한다.

$$y_{ikl} = \begin{cases} 1 & \text{차량 } k \text{가 매장 } i \text{에서 제품 } l \text{ 구매시} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

전환된 결정변수 y_{ikl} 을 적용한 UHMTTP-B(Uncapacitated HMTTP-B)의 수리모형은 CHMTTP-B와 거의 유사하나 아래와 같이 일부 수식이 변경 및 추가된다. 먼저 식 (14)~식 (16)이 CHMTTP-B 수리모형의 식 (9), 식 (10)을 대체한다. 이는 y_{ikl} 이 이진형 변수로 전환됨에 따른 것으로 특정 매장에서 물품구매를 위해서는 경로 설정이 선행되어야 하고 제품 보유량이 있어야 구매가 가능하다는 의미이다.

$$\sum_{j \in M} x_{jik} - y_{ikl} \geq 0 \quad \forall i \in M \setminus \{1\}, \forall k \in V, \forall l \in N \quad (14)$$

$$\sum_{j \in M} x_{jik} - y_{ikl} \geq 0 \quad \forall i \in M \setminus \{1\}, \forall k \in V, \forall l \in N \quad (15)$$

$$q_{il} - \sum_{k \in V} y_{ikl} \geq 0 \quad \forall i \in M \setminus \{1\}, \forall l \in N \quad (16)$$

다음으로 매장에서의 구매용량 제한이 없음을 나타내기 위해 식 (17), 식 (18)이 추가된다.

$$d_i = 1 \quad \forall l \in N \quad (17)$$

$$q_{il} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in M \setminus \{1\}, \forall l \in N \quad (18)$$

4. 실험

4.1 CHMTTP-B

4.1.1 실험조건 및 예제

CHMTTP-B 실험을 위한 조건은 다음과 같다. 먼저 100×100 2차원 평면상에 차고지를 포함한 매장의 좌표를 일양분포(uniform distribution)에 따라 무작위로 생성한다. 단 차고지의 위치는 시스템의 가운데에 위치하도록 보정한다. 매장 수 m 은 $m \in \{15, 20, 25\}$ 로 설정한다. 제품 수 n 은 m 과 동일하게 $n \in \{15, 20, 25\}$ 로 설정한다. 각 제품별 구매요구량 d_i 은 $[5, 10]$ 구간에서 임의로 생성한 값에 100을 곱한 값을 활용한다. 매장별 제품의 보유수량 q_{il} 은 1/3을 0으로 부여하고 2/3를 $[1, 5]$ 구간에서 임의로 생성한 값에 100을 곱한 값을 적용한다. 단 각 품목에 대한 전체 보유량의 합은 구매 요구량보다 크도록 실행가능하게 설정한다. 매장별 판매제품의 가격 b_{il} 은 q_{il} 의 값이 0이 아닌 제품에 대해 $[30, 50]$ 구간에서 무작위로 생성한 값에 10을 곱하여 활용한다. 단 차고지에서는 어떠한 제품도 보유하지 않으므로 q_{il} 및 b_{il} 의 값을 모두 0으로 설정한다. 보유 차종은 7톤, 9톤으로 한정하여 전체 차량 용량의 합이 구매 요구량보다 크도록 실행가능하게 각 차량의 대수를 설정한다. 서상범, 이재민(2007), 조한선, 이동민(2008)의 연구결과를 준용하여 7톤 및 9톤 차량에 대해 변동비 비율 α_k 는 400, 550, 고정비 β_k 는 100,000, 129,000으로 각각 설정한다.

4.1.2 문제 크기에 따른 결과 분석

본 절에서는 매장 수, 제품 수, 차량 대수의 변화에 따른 해의 특성을 고찰한다. 이를 위해 물품 구매를 위한 가용 예산은 생성된 각 제품군별 최대가격과 해당 제품의 구매요구량의 곱을 합한 값으로 충분히 크게 하여 고정한다. 실험결과는 <표 2>와 같다.

<표 2> 문제크기에 따른 실험결과

문제 크기				실험 결과					
m	n	구매 요구량 (kg)	가용 예산	차량대수		방문 매장수	적재율 (%)	최적해	계산 시간 (SEC.)
				7톤	9톤				
15	15	10,200	4,918,000	-	2	6	56	360,850	14.78
				1	1	6	63	314,650	16.53
				2	-	6	73	274,800	18.76
	20	13,700	6,605,000	-	2	6	76	351,500	44.03
				1	1	6	85	307,900	14.5
				2	-	6	98	268,000	20.75
25	17,400	8,198,000	-	2	6	96	354,800	43.25	
			2	1	6	75	410,000	41.25	
			3	-	6	83	376,800	81.5	
20	15	10,200	4,924,000	-	2	5	56	324,000	8.25
				1	1	5	63	281,200	6.79
				2	-	5	73	248,000	19.01
	20	13,700	6,665,000	-	2	5	76	339,400	98.53
				1	1	5	85	297,500	33.29
				2	-	5	98	259,200	241.53
	25	17,400	8,345,000	-	2	6	96	348,750	217.79
				2	1	6	75	410,000	517.32
				3	-	7	83	376,800	804.53
25	15	10,200	4,933,000	-	2	6	56	326,200	118.78
				1	1	6	63	289,500	91.29
				2	-	6	73	253,600	207
	20	13,700	6,627,000	-	2	6	76	328,400	204.51
				1	1	6	85	289,500	195.76
				2	-	6	98	251,200	84.25
	25	17,400	8,409,000	-	2	5	96	341,060	351
				2	1	6	75	400,400	1,810.81
				3	-	6	83	367,200	663.01

매장 수와 제품 수를 고정할 경우 운행된 이종 차량의 각 조합에 있어 운행된 차량의 전체 적재율(pro-

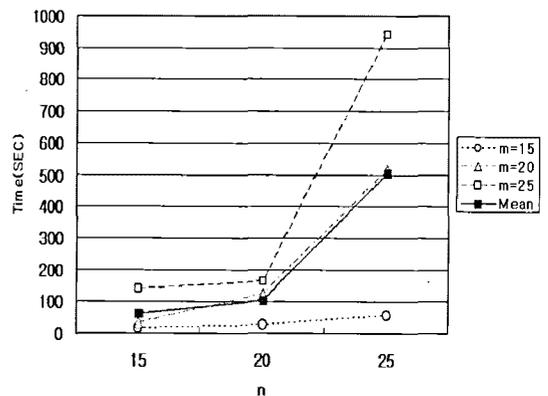
portion of loading amounts)이 목적함수 값에 반비례함을 알 수 있다. 이는 차량의 적재율이 클수록 차량 운행비용(변동비+고정비)이 적게 소요된다는 의미로 차량 보유대수가 유한한 현실의 물류문제에 있어 구매요구량을 충족 가능한 각 차량 조합중 최적의 조합을 선택해야하는 경우에 유의한 지표로 활용 가능하다.

매장 수와 제품 수를 변경 시 <표 2>의 결과를 통해 산출한 평균 계산시간의 변화는 <표 3>과 같다.

<표 3> 평균 계산시간

m	n			
	15	20	25	평균
15	16.7	26.4	55.3	32.80
20	34.1	124.5	513.2	223.93
25	139	161.51	941.6	414.04
평균	63.27	104.14	503.37	670.78

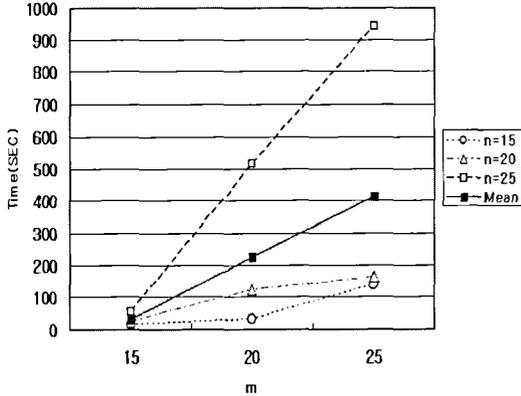
매장 수를 고정하고 제품 수를 증가 시 평균 계산시간의 증가 추이는 [그림 1]과 같다. 매장 수 20 이하에서는 제품 수 증가에 따른 계산시간이 비교적 완만하게 증가하나 매장 수가 25로 커진 경우 계산시간이 지수적으로 급격히 증가하였다.



[그림 1] 제품 수 증가에 따른 평균 계산시간 변화

제품 수를 고정하고 매장 수를 증가 시 평균 계

산시간의 증가추이는 [그림 2]와 같다. 매장 수 증가에 따라 평균 계산시간이 선형으로 증가하였다.



[그림 2] 매장 수 증가에 따른 평균 계산시간 변화

위 결과에 따라 매장 수 및 제품 수가 25이하인 문제에서 CHMTPP-B의 최적해 도출을 위한 평균 계산시간은 매장 수에 선형, 제품 수에 지수적으로 증가함을 알 수 있다. 특히 매장 수가 클 경우 제품 수 증가에 따라 계산시간이 급격히 증가한다.

4.1.3 예산증가에 따른 민감도 분석

가용예산 증가에 따른 해의 특성을 고찰하기 위해 <표 2>의 기 생성된 예제중 매장 수 및 제품 수 각각 20, 구매요구량 13,700, 그리고 가용차량을 7톤, 9톤 각 1대씩으로 적용한 경우를 활용한다. 이 때 가용예산은 생성된 각 제품군별 최소, 평균, 최대가격에 해당 제품의 구매요구량을 곱한 값의 합을 각각 적용한다. 제품군별 최소, 평균, 최대가격을 적용하여 생성된 가용예산은 4,258,000, 5,521,272, 6,665,000으로 각각 산출되었다. 정밀한 민감도 분석을 위해 평균가격과 최소가격, 평균가격과 최대가격 적용시 산출예산 범위를 6구간, 3구간으로 각각 추가 구분하여 실험하였다. 결과는 <표 4>와 같다.

최소가격을 적용하여 산출한 예산을 적용시 최적해가 산출되지 않았다. 이는 용량이 7톤, 9톤으로 한정된 2대의 차량을 이용해서는 예산범위 내에서 수요량을 충족하는 실행가능한 2개의 경로를 형성

하지 못하기 때문이다. 최적해가 산출된 경우를 보면 가용예산이 증가할수록 최적경로 내에 포함된 매장의 수와 목적함수 값이 감소하였고 평균가격을 적용하여 산출된 가용예산에 근접해서는 목적함수 값이 수렴하였다. 이는 가용예산(구매비용)이 감소할수록 거리가 멀더라도 가격이 싼 제품을 판매하는 매장을 해에 포함시켜야 하기 때문에 목적함수인 이동비용이 증가하기 때문이다. 해에 포함된 매장의 수가 예산이 감소함에 따라 증가하는 것도 동일한 이유이다.

예산증가에 따른 계산시간의 변화는 뚜렷한 패턴을 보이지 않는다. 그러나 예산제약이 최소 수치에 근접하여 매우 엄격해질(tight) 경우 <표 4>에서 보는 바와 같이 계산시간이 급격히 증가함을 알 수 있다. 이는 예산제약의 엄격성으로 인해 해 공간 탐색에 있어서의 유연성이 감소하고 더욱 많은 매장을 해에 포함시켜야 하기 때문이다.

<표 4> 예산증가에 따른 민감도 분석결과

가용예산	방문 매장수	최적해	계산시간 (SEC.)
4,258,000(Min)	-	infeasible	-
4,468,500	12	357,600	409.28
4,679,000	7	304,500	42.26
4,889,500	6	300,500	50.53
5,100,000	5	297,500	44.75
5,310,500	5	297,500	57.26
5,521,272(Mean)	5	297,500	82
5,902,272	5	297,500	93.29
6,283,272	5	297,500	61.5
6,665,000(Max)	5	297,500	33.29

4.1.4 단일차량과 복수차량 운행시 민감도 분석

단일차량과 복수차량 운행시의 효율성 측정을 위한 실험에서는 예산증가에 따른 민감도 분석시의 예제를 동일하게 적용한다. 단 제 4.1.2절의 실험결과와 같이 운행된 차량의 적재율에 따라 목적함수 값이 영향을 받으므로 7톤과 9톤 차량 각 1대 운행시와 동일한 적재율을 가지도록 단일차량의 적재용

량을 16톤으로 설정한다. 서상범, 이재민(2007), 조한선, 이동민(2008)의 연구결과를 준용하여 16톤 차량의 변동비 비율은 1,000, 고정비는 216,000으로 각각 설정하고 가용예산은 6,665,000으로 고정한다. 실험결과는 <표 5>와 같다. 단일차량 운행시 동일한 적재율이라 하더라도 목적함수 값은 증가하였으며 계산시간은 감소하였다.

<표 5> 운행대수에 따른 민감도 분석결과

차량 대수			실험결과			
7톤	9톤	16톤	방문 매장수	적재율 (%)	최적해	계산시간 (SEC.)
1	1	-	5	85	297,500	33.29
-	-	1	5	85	339,000	5.25

그러나 위 실험결과는 차종별 고정비와 변동비를 어떻게 설정하느냐에 따라 결과가 가변적이므로 차량대수의 단수에서 복수로의 전환에 따른 엄정한 민감도 분석이라 볼 수 없다. 따라서 기타 조건은 위 실험과 동일하게 하되 고정비와 변동비를 적용하지 않고 목적함수를 전체 차량의 이동거리 최소화로 하여 차량대수 변화에 따른 해의 특성 변화를 고찰한다. 차량대수를 14톤 1대, 7톤 2대, 5톤 3대, 4톤 4대, 3톤 5대로하여 각 경우별로 실험한 결과는 <표 6>과 같다. 차량 대수의 증가에 따라 목적함수인 총 이동거리가 증가한다. 7톤 차량 운행시와 5톤 차량 운행시의 최적 경로에 포함된 매장은 동일하였다. 그러나 운행차량 증가에 따라 이동거리가 증가하는 것은 유클리드 공간상에서의 삼각 부등식(triangular inequality)의 성질에 따른 자명한 현상이다.

<표 6> 운행대수에 따른 민감도 분석결과

차량 대수					실험결과		
3톤	4톤	5톤	7톤	14톤	방문 매장수	최적해	계산시간 (SEC.)
5	-	-	-	-	6	240	112.25
-	4	-	-	-	6	204	223.28
-	-	3	-	-	5	166	46.03
-	-	-	2	-	5	148	78
-	-	-	-	1	5	123	4.57

4.1.5 중복방문 허용시 민감도 분석

본 연구에서 제시된 수리모형은 하나의 매장은 1회 이하로만 방문되는 것을 가정한다. 이는 조합최적화 문제중 경로문제의 일종인 TPP의 일반적 성격을 반영하기 위함이다. 그러나 특정 매장이 최저 가격에 다종의 제품을 판매하는 경우에는 해당 매장에서 다종의 제품을 구매할 수 있고 구매된 제품의 총 중량이 단일 차량의 용량을 초과할 수 있다. 이를 위해 중복방문 허용시에 대한 민감도 분석을 실시한다. 이 때 수리모형중 방문가능 매장 수 제한에 대한 제약식 (2)를 식 (19)와 같이 변경한다. λ 는 중복방문 허용횟수를 의미한다.

$$\sum_{i \in M} \sum_{k \in V} x_{ijk} \leq \lambda \quad \forall j \in M \setminus \{1\} \quad (19)$$

실험 예제는 <표 2>에서 매장 수 및 제품 수가 15인 경우를 적용하고 차량은 5톤 차량만 보유한 것으로 설정한다. 단 차고지에서 가장 가까운 8번 매장은 15종의 모든 제품을 500개씩 최저가격 300에 판매하는 것으로 설정한다. 이는 특정 매장이 최저 가격의 다종 제품을 판매하여 중복방문을 고려해야 하는 경우를 묘사하기 위함이다. 구매요구량은 15,000으로 하여 5톤 차량 3대가 운행되는 것으로 설정한다. 서상범, 이재민(2007), 조한선, 이동민(2008)의 연구결과를 준용하여 5톤 차량의 변동비 비율은 350, 고정비는 71,000으로 적용한다. 본 실험의 해는 가용 예산에 크게 영향을 받으므로 예산적용의 엄격성을 위해 각 제품군별 최저가격에 해당 제품의 구매요구량을 곱한 값의 합인 4,500,000을 기준으로 5,000,000까지 100,000 단위로 증가시키며 실험한다. 중복방문 허용횟수 λ 를 1, 2, 3으로 변경하며 해의 특성 변화를 고찰한다.

결과는 <표 7>과 같다. 중복방문을 허용치 않고 ($\lambda = 1$) 가용예산이 매우 엄격할 경우 최적해가 산출되지 않았고 예산 4,900,000부터 최적해가 산출되었다. 2회의 중복방문을 허용할 경우($\lambda = 2$) 예산 증가에 따라 목적함수 값이 감소하여 254,300으로 수렴하였다. 3회의 중복방문을 허용할 경우($\lambda = 3$) 최

〈표 7〉 중복방문 허용시 민감도 분석결과

가용예산	$\lambda = 1$			$\lambda = 2$			$\lambda = 3$		
	차량별 최적경로	최적해	계산시간 (SEC.)	차량별 최적경로	최적해	계산시간 (SEC.)	차량별 최적경로	최적해	계산시간 (SEC.)
4,500,000	-	infeasible	-	-	infeasible	-	1-8-1 1-8-1 1-8-1	242,400	0.5
4,600,000	-	infeasible	-	1-8-1 1-8-1 1-11-2-7-12-15-4-13-1	304,700	134.5	1-8-1 1-8-1 1-8-1	242,400	0.25
4,700,000	-	infeasible	-	1-8-1 1-8-1 1-12-11-5-1	262,700	3.51	1-8-1 1-8-1 1-8-1	242,400	0.25
4,800,000	-	infeasible	-	1-8-1 1-8-1 1-5-11-1	254,300	1.5	1-8-1 1-8-1 1-8-1	242,400	0.25
4,900,000	1-8-1 1-12-2-11-5-1 1-15-4-14-13-6-1	323,950	154.25	1-8-1 1-8-1 1-5-11-1	254,300	3	1-8-1 1-8-1 1-8-1	242,400	0.25
5,000,000	1-8-1 1-5-11-1 1-13-14-4-15-3-1	306,100	141.76	1-8-1 1-8-1 1-5-11-1	254,300	4.01	1-8-1 1-8-1 1-8-1	242,400	0.25

저예산으로도 최적해를 도출하였다.

해에 포함된 매장의 수는 예산증가에 따라 감소 추세를 보인다. 이는 예산이 부족할 경우 거리가 멀고 많은 매장을 방문하더라도 가용한 구매예산 범위 내에서 구매요구량을 충족시켜야 하기 때문이다. 예산증가에 따라 이동비용(변동비+고정비)이 감소하는 것도 동일한 이유이다.

4.2 UHMTTP-B

4.2.1 실험조건 및 예제

UHMTTP-B 실험을 위한 조건은 CHMTTP-B와 동일하다. 단 q_{it} 은 1/3을 0으로 2/3를 1로 부여하고, 가격 b_{it} 은 q_{it} 의 값이 1인 제품에 대해 [30, 50] 구간에서 무작위로 생성한 값에 10을 곱하여 활용한다. 보유 차량의 용량은 7, 9로 하여 전체 차량 용량의 합이 구매 요구량보다 크도록 실행가능하게 각 차량의대수를 설정한다.

4.2.2 문제 크기에 따른 결과 분석

매장 수, 제품 수, 차량 대수의 변화에 따른 해의

특성을 고찰하기 위해 물품 구매를 위한 가용 예산은 생성된 각 제품군별 최대가격의 합으로 고정한다. 실험결과는 <표 8>과 같다.

매장 수와 제품 수를 고정할 경우 CHMTTP-B 실험결과와 동일하게 운영된 이중 차량의 전체 적재율이 목적함수 값에 반비례한다. 이는 차량의 적재율이 클수록 차량 운행비용(변동비+고정비)이 적게 소요되어 효율성이 높아진다는 의미이다. 적재율은 차량 보유대수가 유한한 현실의 물류문제에 있어 구매요구량을 충족 가능한 각 차량 조합중 최적의 조합을 선택해야하는 경우에 유의한 지표로 활용 가능하다. 또한 <표 8>에서와 같이 UHMTTP-B는 CHMTTP-B에 비해 계산시간이 매우 적게 소요된다. 이는 분할구매의 적용 유무가 문제의 복잡도에 큰 영향을 미침을 의미한다.

4.2.3 예산증가에 따른 민감도 분석

가용예산 증가에 따른 해의 특성을 고찰하기 위해 기 생성된 <표 8>의 예제중 매장 수, 제품 수, 구매요구량 각각 20, 그리고 가용차량의 용량을 7, 9로 하여 각 2대, 1대씩으로 적용한 경우를 활용한다.

<표 8> 문제크기에 따른 실험결과

문제 크기		실험 결과							
m	n	구매 요구량 (kg)	가용 예산	차량 대수		방문 매장수	적재율 (%)	최적해	계산 시간 (SEC.)
				7톤	9톤				
15	15	15	7,230	-	2	3	83	310,250	0.28
				1	1	3	93	277,050	0.5
				3	-	3	71	353,600	0.5
	20	20	9,620	-	3	3	74	446,400	0.5
				1	2	3	80	411,400	0.29
				2	1	3	87	376,400	0.26
				3	-	3	95	343,200	0.25
				-	3	3	92	446,400	0.5
	25	25	11,920	1	2	3	100	411,400	0.5
3				1	4	83	497,200	0.25	
4				-	4	89	464,000	0.25	
-				2	2	83	295,400	0.5	
20	15	15	7,280	1	1	2	93	260,400	0.5
				3	-	3	71	343,200	0.75
				-	3	3	74	453,000	0.75
	20	20	9,600	1	2	3	80	416,200	0.5
				2	1	3	87	381,200	0.76
				3	-	3	95	348,000	0.5
				-	3	3	92	453,000	0.5
	25	25	11,940	1	2	3	100	416,200	0.5
				3	1	4	83	497,200	0.76
4				-	4	89	464,000	0.5	
25	15	15	7,270	-	2	2	83	289,900	0.75
				1	1	2	93	256,400	0.25
				3	-	3	71	339,200	0.51
	20	20	9,710	-	3	3	74	440,900	0.76
				1	2	3	80	405,900	0.75
				2	1	3	87	372,400	0.76
				3	-	3	95	339,200	0.75
	25	25	12,040	-	3	3	92	440,900	1
				1	2	3	100	405,900	0.75
3				1	4	83	488,400	0.75	
				4	-	4	89	455,200	1

다. 이 때 가용예산은 생성된 각 제품군별 최소, 평균, 최대가격의 합을 각각 적용한다. 제품군별 최소, 평균, 최대가격을 적용하여 생성된 가용예산은 6,310, 8,095, 9,600으로 각각 산출되었다. 정밀한 민감도 분

석을 위해 평균가격과 최소가격, 평균가격과 최대 가격 적용시 산출예산 범위를 6구간, 3구간으로 각각 추가 구분하여 실험하였다. 결과는 <표 9>와 같다.

<표 9> 예산증가에 따른 민감도 분석결과

가용예산	방문 매장수	최적해	계산시간 (SEC.)
6,310(Min)	13	497,150	20.03
6,610	6	422,800	171.78
6,910	5	402,800	123
7,210	4	391,600	14.75
7,510	3	381,200	0.5
7,810	3	381,200	0.75
8,095(Mean)	3	381,200	0.5
8,600	3	381,200	0.5
9,100	3	381,200	0.75
9,600(Max)	3	381,200	0.5

<표 9>에서 가용예산이 증가할수록 최적경로 내에 포함된 매장의 수와 목적함수 값이 감소하였고 평균가격을 적용하여 산출된 가용예산에 근접해서는 목적함수 값이 수렴하였다. 이는 가용예산(구매 비용)이 감소할수록 거리가 멀더라도 가격이 싼 제품을 판매하는 매장을 해에 포함시켜야 하기 때문에 목적함수인 이동비용이 증가하기 때문이다. 해에 포함된 매장의 수가 예산이 감소함에 따라 증가하는 것도 동일한 이유이다. 예산증가에 따라 계산 시간은 감소 경향을 보인다.

4.2.4 단일차량과 복수차량 운행시 민감도 분석

단일차량과 복수차량 운행시의 효율성 측정을 위한 실험에서는 예산증가에 따른 민감도 분석시의 예제를 동일하게 적용한다. 단 운행된 차량의 적재율에 따라 목적함수 값이 영향을 받으므로 용량이 7, 9인 차량을 각 2대, 1대 운행시와 동일한 적재율을 가지도록 단일차량의 적재용량을 23으로 설정한다. 서상범, 이재민(2007), 조한선, 이동민(2008)의 연구결과를 준용하여 용량 23인 차량의 변동비 비율은 1,400, 고정비는 310,000으로 각각 설정하고 가용예산은 9,600

으로 고정한다. 실험결과는 <표 10>과 같다. 단일 차량 운행시 동일한 적재율이라 하더라도 목적함수 값이 증가하였다.

<표 10> 운행대수에 따른 민감도 분석결과

차량 대수			실험결과			
Capa = 7	Capa = 9	Capa = 23	방문 매장수	적재율 (%)	최적해	계산시간 (SEC.)
2	1	-	3	87	381,200	0.76
-	-	1	3	87	415,000	1.5

위 실험결과는 차종별 고정비와 변동비를 어떻게 설정하느냐에 따라 결과가 가변적이므로 차량대수의 단수에서 복수로의 전환에 따른 엄정한 민감도 분석이라 볼 수 없다. 따라서 기타 조건은 위 실험과 동일하게 하되 고정비와 변동비를 적용하지 않고 목적함수를 전체 차량의 이동거리 최소화로 하여 차량대수 변화에 따른 해의 특성 변화를 고찰한다. 차량대수를 5, 4, 2, 1대로하여 실험한 결과는 <표 11>과 같다. 차량 대수의 증가에 따라 목적함수인 총 이동거리가 증가한다. 이는 유클리드 공간 상에서의 삼각 부등식의 성질에 따른 자명한 현상이다.

<표 11> 운행대수에 따른 민감도 분석결과

차량 대수				실험결과		
Capa = 4	Capa = 5	Capa = 10	Capa = 20	방문 매장수	최적해	계산시간 (SEC.)
5	-	-	-	5	206	1
-	4	-	-	4	160	0.26
-	-	2	-	3	90	2.26
-	-	-	1	3	75	1.5

4.2.5 중복방문 허용시 민감도 분석

CHMTPP-B 실험과 동일하게 UHMTPP-B에서도 중복방문 허용을 위해 식 (19)를 적용한다. 실험 예제는 <표 8>에서 매장 수, 제품 수, 구매요구량이 15인 경우를 적용하고 용량이 5인 차량만 보유한 것으로 설정한다. 단 차고지에서 가장 가까운 8번 매장

은 15종의 모든 제품을 최저가격 300에 판매하는 것으로 설정하여 특정 매장이 최저가격의 다중 제품을 판매하여 중복방문을 고려해야하는 상황을 묘사한다. 구매요구량이 15이므로 용량 5인 차량 3대가 운행되는 것으로 설정한다. 차량의 변동비 비율은 350, 고정비는 71,000으로 적용한다. 실험결과가 가용예산에 크게 영향을 받으므로 예산적용의 엄격성을 위해 각 제품군별 최저가격의 합인 4,500을 기준으로 5,000까지 100단위로 예산을 증가시키며 실험한다. 중복방문 허용횟수 λ 는 1, 2, 3으로 변경하며 해의 특성 변화를 고찰한다.

결과는 <표 12>와 같다. 중복방문을 허용치 않고 ($\lambda = 1$) 가용예산이 매우 엄격할 경우 해가 산출되지 않았고 예산 4,700부터 해가 산출되었다. 2회의 중복방문을 허용할 경우 ($\lambda = 2$) 예산증가에 따라 목적함수 값이 감소하여 246,600으로 수렴하였다. 3회의 중복방문을 허용할 경우 ($\lambda = 3$) 최저예산으로 최적해를 도출하였다.

해에 포함된 매장의 수는 예산증가에 따라 감소 추세를 보인다. 이는 예산이 부족할 경우 거리가 멀고 많은 매장을 방문하더라도 가용한 구매예산 범위 내에서 구매요구량을 충족시켜야 하기 때문이다. 예산증가에 따라 이동비용이 감소하는 것도 동일한 이유이다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 물품구매 예산 제약하에서 이동비용을 최소화하는 문제인 TPP-B에 용량이 상이한 복수 구매자를 고려한 HMTPP-B에 대해 다루었다. 매장에서의 구매 용량 제약 유무에 따라 CHMTPP-B와 UHMTPP-B를 구분하여 각 경우별로 매장 및 제품 수를 15, 20, 25로 적용한 예제를 구성하여 CPL EX를 통해 실험하였다. 두 가지 경우 모두 비교적 짧은 시간 내에 최적해를 구하였고 CHMTPP-B에 비해 UHMTPP-B가 계산시간이 더 적게 소요됨을 확인하였다.

2009년 기준 재계서열 약 30위권의 K기업의 경

<표 12> 중복방문 허용시 민감도 분석결과

가용예산	$\lambda = 1$			$\lambda = 2$			$\lambda = 3$		
	차량별 최적경로	최적해	계산시간 (SEC.)	차량별 최적경로	최적해	계산시간 (SEC.)	차량별 최적경로	최적해	계산시간 (SEC.)
4,500	-	infeasible	-	-	infeasible	-	1-8-1 1-8-1 1-8-1	242,400	0.5
4,600	-	infeasible	-	1-8-1 1-8-1 1-11-12-1	261,300	2.51	1-8-1 1-8-1 1-8-1	242,400	0.5
4,700	1-8-1 1-13-6-1 1-15-12-11-1	288,250	4.75	1-8-1 1-8-1 1-11-1	252,900	1	1-8-1 1-8-1 1-8-1	242,400	0.5
4,800	1-8-1 1-11-5-1 1-13-6-1	267,950	4	1-8-1 1-8-1 1-6-1	246,600	0.75	1-8-1 1-8-1 1-8-1	242,400	0.5
4,900	1-11-5-1 1-6-1 1-8-1	258,500	1.5	1-8-1 1-8-1 1-6-1	246,600	0.5	1-8-1 1-8-1 1-8-1	242,400	0.51
5,000	1-11-1 1-8-1 1-6-1	257,100	2.03	1-8-1 1-8-1 1-6-1	246,600	0.5	1-8-1 1-8-1 1-8-1	242,400	0.5

우 섬유 및 화학제품 생산을 주력으로 하며 생산에 필요한 원재료 조달을 위해 자회사를 별도로 운용하고 있다. 이 때 K기업의 자회사는 다수의 5톤 및 15톤 트럭을 활용하여 필요 물자를 조달하며 조달기간 내에 평균적으로 10개 미만의 매장에서 30종 미만의 원재료를 조달한다. 기타 다수의 이중차량을 통해 물류를 수행하는 물류전문 중소기업도 다수 존재하며 방문 매장 수 및 구매 물품 종류도 K기업의 경우와 유사함을 조사를 통해 확인하였다. 결국 본 연구에서 다룬 문제의 크기 수준에서도 기업 현장의 조달물류 최적화 문제를 일정부분 해결 가능하다고 판단된다.

그러나 매장 및 제품 수 등 문제의 크기가 커질 경우 NP-hard 문제의 특성상 최적해를 도출하는 것이 불가능할 경우가 발생할 수 있다. 따라서 향후 HMTTP-B를 해결할 수 있는 휴리스틱 및 메타휴리스틱 기법의 적용에 대한 연구가 필요하다. 또한 임의로 설정한 예제가 아닌 실제 기업 운용에 있어 완제품 생산을 위한 원자재나 부품을 구매해야하는 경우에 본 HMTTP-B 모델을 적용하여 최적의 의사결정을 내릴 수 있다면 보다 가치 있는 연구가 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 서상범, 이재민, 국가물류비 산정 및 추이분석, 한국교통연구원, 2007.
- [2] 조한선, 이동민, 전국 교통혼잡비용 산출과 추이분석, 한국교통연구원, 2008.
- [3] Angelelli, E., R. Mansini, and M. Vindigni, "Exploring greedy criteria for the dynamic traveling purchaser problem," *Central European Journal of Operations Research*(online published), 2008.
- [4] Boctor, F.F., G. Laporte, and J. Renaud, "Heuristics for the traveling purchaser problem," *Computers and Operations Research*, Vol.30 (2003), pp.491-504.
- [5] Bontoux, B. and D. Feillet, "Ant colony optimization for the traveling purchaser problem," *Computers and Operations Research*, Vol.35(2008), pp.628-637.
- [6] Bowersox, D.J. and D.J. Closs, *Logistical management : The integrated supply chain process*, New York, NY, McGraw-Hill, 1996.

- [7] Burstall, R.M., "A heuristic method for a job sequencing problem," *Operational Research Quarterly*, Vol.17(1966), pp.291-304.
- [8] Buzacott, J.A. and S.K. Dutta, "Sequencing many jobs on a multipurpose facility," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.18(1971), pp.75-82.
- [9] Dantzig, G.B. and J.H. Ramser, "The Truck Dispatching Problem," *Management Science*, Vol.6(1959), pp.80-91.
- [10] Drucker, P.F., Management's new paradigm, *Forbes*, October 1998, pp.152-177.
- [11] Goldberg, M.C., L.B. Bagi, and E.F.G. Goldberg, "Transgenetic algorithm for the traveling purchaser problem," *European Journal of Operations Research*, Vol.199(2008), pp.36-45.
- [12] Golden, B.L., L. Levy, R. Dahl, "Two generations of the traveling salesman problem," *Omega*, Vol.9(1981), pp.439-445.
- [13] Johnson, G.A. and L. Malucci, Shift to supply chain reflects more strategic approach, *APICS-The Performance Advantage*, October 1999, pp.28-31.
- [14] Lambert, D.M., M.C. Cooper, and J.D. Pagh, "Supply chain management : Implementation issues and research opportunities," *The International Journal of Logistics Management*, Vol.9(1998), pp.1-19.
- [15] Laporte, G., J. Riera-Ledesma, and J.J. Salazar-González, "A branch and cut algorithm for the undirected traveling purchaser problem," *Operations Research*, Vol.51(2003), pp. 142-152.
- [16] Mansini, R. and B. Tocchella, "The traveling purchaser problem with budget constraint," *Computers and Operations Research*, Vol.36 (2009), pp.2263-2274.
- [17] Miller C.E., A.W. Tucker, and R.A. Zemlin, "Integer programming formulation of traveling salesman problems," *Journal of Association for Computing Machinery*, Vol.7(1960), pp.326-329.
- [18] Min, H. and G. Zhou, "Supply chain modeling : past, present and future," *Computers and Industrial Engineering*, Vol.43(2002), pp. 231-249.
- [19] Ong, H.L., "Approximate algorithm for the traveling purchaser problem," *Operations Research Letters*, Vol.1(1982), pp.201-205.
- [20] Pearn, W.L. and R.C. Chien, "Improved solutions for the traveling purchaser problem," *Computers and Operations Research*, Vol.25 (1998), pp.879-885.
- [21] Ramesh, T., "Traveling purchaser problem," *OPSEARCH*, Vol.18(1981), pp.78-91.
- [22] Riera-Ledesma, J. and J.J. Salazar-González, "A heuristic approach for the traveling purchaser problem," *European Journal of Operations Research*, Vol.162(2005a), pp.142-152.
- [23] Riera-Ledesma, J. and J.J. Salazar-González, "The biobjective traveling purchaser problem," *European Journal of Operations Research*, Vol.160(2005b), pp.599-613.
- [24] Simchi-Levi, D., P. Kaminsky, and E. Simchi-Levi, *Designing and managing the supply chain : concepts, strategy, and case study*, McGraw-Hill Higher Education, 2003.
- [25] Singh, K.N. and van D.L. Oudheusden, "A branch and bound algorithm for the traveling purchaser problem," *European Journal of Operations Research*, Vol.97(1997), pp.571-579.
- [26] Teeninga, A. and A. Volgenant, "Improved heuristics for the traveling purchaser problem," *Computers and Operations Research*, Vol.31(2004), pp.139-150.
- [27] Voß, S., "Dynamic tabu search strategies for the traveling purchaser problem," *Annals of Operations Research*, Vol.63(1996), pp.253-275.