

용량제약이 있는 복수 순회구매자 문제의 휴리스틱 해법

최명진 · 이상현[†]

국방대학교 운영분석학과

Heuristic Approach for the Capacitated Multiple Traveling Purchaser Problem

Myung-Jin Choi · Sang-Heon Lee

Department of Operations Research, Korea National Defense University, Seoul, 122-875

The traveling purchaser problem (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 the last decade, TPP has received some attention of the researchers in the operational research area. However, all of the past researches for TPP are restricted on a single purchaser (vehicle). It could be the limitation to solve the real world problem. The purpose of this paper is to suggest the capacitated multiple TPP (CMTTP). It could be used in inbound logistics optimization in supply chain management area and many others. Since TPP is known as NP-hard, we also developed the heuristic algorithm to solve the CMTTP.

Keyword: capacitated multiple traveling purchaser problem, inbound logistics optimization, heuristic algorithm, supply chain management

1. 서론

순회구매자문제(TPP, traveling purchaser problem)는 잘 알려진 순회판매자문제(TSP, traveling salesman problem)의 일반화된 형태로 TSP가 이동비용(travel cost) 최소화를 목적으로 한다면 TPP는 이동비용과 함께 구매비용(purchase cost)의 최소화까지 동시에 고려하는 문제이다. 이 때, 특정 제품 l 을 판매하는 매장 i 에서 해당 제품의 구매요구량 d_l 을 모두 만족할 수 있는 경우($d_l = 1$ for all l and $q_{il} \in \{0, 1\}$ for all i and l , q_{il} : 매장 i 에서 구매 가능한 제품 l 의 수량)의 문제를 용량제약이 없는 순회구매자문제(UTPP, uncapacitated TPP)라 하고 한 매장에서 구매요구량을 충족할 수 없어 다른 매장에서 요구량의 잔여분을 구매하는 즉, 분할 구매가 허용되는 경우의 문제를 용량제약이 있는 순회구매자문제(CTPP, capacitated TPP)라 한다. TPP는 NP-hard 문

제로 이는 TSP가 각 제품이 오직 하나의 매장에서만 구매가능하고 각 매장이 오직 하나의 제품만을 판매하는 경우를 가정한 TPP의 특수한 형태이기 때문이다.

Choi and Lee(2010a)는 단일 구매자를 고려하는 TPP 연구에 대한 문헌적 고찰을 수행한 바 있다. 이에 따르면, UTPP는 Burstall(1966), Buzacott and Dutta(1971)의 작업 스케줄링(job scheduling) 연구에서 최초로 나타나고 Burstall(1966)은 Lomnicki(1966)가 제시한 알고리즘에 기반한 휴리스틱을 개발한 바 있다. Singh and Oudheusden(1997)은 스케줄링과 Current *et al.*(1984)의 최단경로 커버문제(SCPP, shortest covering path problem) 등에 UTPP가 활용 가능함을 보인 바 있고, UTPP는 통신 네트워크 설계분야에서도 적용된 바 있다(Ravi and Salman, 1999). Ramesh(1981)는 현재에 알려진 TPP를 최초로 제안하였고 최적해 알고리즘인 lexicographic search를 개발하였다. Golden *et al.*(1981)은 UTPP에 대

[†]연락처 : 이상현 교수, 122-875 서울시 은평구 수색동 205 국방대학교 운영분석학과,

Fax : 02-309-6233, E-mail : leesangh@kndu.ac.kr

투고일(2010년 05월 24일), 심사일(1차 : 2010년 08월 10일, 2차 : 2010년 09월 14일), 게재확정일(2010년 09월 17일).

한 휴리스틱 해법으로 GSH(*generalized savings heuristic*)를 제안하였으며 Ong(1982)은 Golden *et al.*(1981)의 알고리즘을 개선한 TRH(*tour reduction heuristic*)를 제안하였다. 또한, Voß(1996)는 UTPP 해결을 위해 메타휴리스틱 기법인 동적(dynamic) 타부서치(TS, *tabu search*)와 시뮬레이티드 어닐링(SA, *simulated annealing*)에 기반한 사후 최적화(*post-optimization*) 절차를 제시하였으며 Singh and Oudheusden(1997)은 최적해 알고리즘인 분지한계법(*branch-and-bound*)을 개발한 바 있다. 이후, Pearn and Chien(1998)이 Golden *et al.*(1981)과 Ong(1982)의 기법을 개선한 PS-GSH(*parameter selection GSH*), TS-GSH(*tie selection GSH*), 그리고 CAH(*commodity adding heuristic*)를 제안하였다. Laporte *et al.*(2003)이 CTPP를 최초로 제안하고 UTPP와 CTPP에 모두 적용 가능한 MAH(*market adding heuristic*)를 개발하여 최적해 기법인 분지절단(*branch and cut*) 알고리즘에 활용하였다. Boctor *et al.*(2003)은 Pearn and Chien(1998)의 휴리스틱 기법을 보완하여 타부서치에 기반한 PH(*perturbation heuristics*) 기법을 제안하였고 Teeninga and Volgenant(2004)는 Golden *et al.*(1981)의 GSH, Pearn and Chien(1998)의 CAH, 그리고 Ong(1982)의 TRH에 활용되는 전처리(*pre-processing*)와 강화 절차들(*intensification procedures*)을 소개하였다. 또한, Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a)는 두 개의 이웃을 활용 가능한 경우의 반복적 지역 탐색(LS, *local search*) 알고리즘을 제안하였고 Riera-Ledesma and Salazar-González(2006)는 ATPP에 대한 최적해 산출기법을 제안한 바 있다. 이후, Bontoux and Feillet(2008)은 ACO(*ant colony optimization*) 알고리즘을 기반으로 탐색의 강화를 위해 Riera-Ledesma and Salazar-González(2005a)의 LS 알고리즘을 결합한 DMD-ATA(*dynamic multi-dimensional anamorphic traveling ants algorithm*)를 개발하였으며 Goldbarg *et al.*(2008)은 UTPP 및 CTPP의 해결을 위해 Jain *et al.*(2003)의 수평 유전자 이동(*horizontal gene transfer*)과 Margulis(1992)의 내공생(*endosymbiosis*) 개념을 적용한 휴리스틱인 TA(*transgenetic algorithm*)를 제안하였다.

최근에는 매장에서 구매용량 제약 유무에 따른 TPP 유형 구분에서 벗어나 변형된 형태의 TPP가 연구되었다. Riera-Ledesma and Salazar-González(2005b)는 TPP의 목적함수에서 결합된 두 비용요소의 상이한 속성으로 인해 구매비용의 감소는 이동비용의 증가를 초래할 수 있다는 문제를 보완하기 위해 이중목적 TPP(2TPP, *biobjective TPP*)를 제안하였다. 또한, 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. Mansini and Tocchella(2009)는 목적함수 내에 이동비용과 구매비용이 고려되었던 기존의 TPP 연구와 차별화하여 이동비용이 목적함수 내에서 최소화되고 구매비용은 제약식 내에서 한계가 설정되는 예산 제약 하 TPP(TPP-B, *TPP with budget constraint*)를 제안한 바 있다.

TPP는 작업 스케줄링, 웨어하우징, 경로문제 등의 분야에 응용되고 있으며(Singh and Oudheusden, 1997) TPP 자체로도 SCM(*supply chain management*)이 주목받는 오늘날의 경영환경을 고

려했을 때 연구필요성이 크다고 할 수 있다(Choi and Lee, 2010c). 그러나 기존의 대부분 TPP 연구는 단일 구매자(차량)에 국한되어(Choi and Lee, 2010a) 복수의 차량을 운행하여 물류를 수행하는 기업환경을 고려시 현실 활용성이 떨어진다. 최근에 이르러서야 이러한 제한사항의 극복을 위해 복수의 차량을 고려하는 복수 순회구매자문제(MTPP, *multiple TPP*)에 대한 연구가 수행되었다. Choi and Lee(2010c)는 용량제약이 없는 복수 순회구매자문제(UMTPP, *uncapacitated multiple TPP*)에 대한 수리모형을 구축하고 단일 구매자에서 복수 구매자로의 전환에 따른 해의 특성변화 및 문제 크기에 따른 계산시간의 증가를 고찰하였다. 그 외, 구매예산 제약과 다용량 차량을 고려하는 예산 제약을 고려한 다용량 복수 순회구매자문제(HMTPP-B, *heterogeneous multiple TPP with budget constraint*)가 연구된 바 있고(Choi and Lee, 2010b), 역물류중 폐기물류 최적화를 위해 다기간(*multi period*) 및 다용량 차량을 고려한 다기간 다용량 복수 순회구매자문제(PHMTTP, *periodic heterogeneous multiple TPP*)가 제안된 바 있다(Choi and Lee, 2009). 또한 MTPP의 완화된 형태로 전시에 군수물자 획득에 소요되는 시간의 최소화를 목적으로 하는 연구도 수행된 바 있다(Choi, 2010). 이는 일반적 TPP(혹은 MTPP)의 목적이 이동비용과 구매비용의 최소화임에 반해 전시 혹은 긴급사태시 구매비용에 대한 고려보다는 이동비용 최소화가 더욱 절실한 요소임을 반영하여 목적함수에서 구매비용을 제거하고 필요물자를 필요량만큼 최대한 빠른 시간 안에 획득함을 목적으로 하는 문제이다.

본 연구에서는 Choi and Lee(2010c)의 UMTPP를 보다 일반화한 CMTPP(*capacitated multiple TPP*)를 다룬다. CMTPP 수리모형의 UMTPP와의 상이점을 명시하고 CMTPP의 해결을 위한 휴리스틱 기법을 제시한다.

2. CMTPP 모형 및 해법

2.1 CMTPP 수리모형

본 연구에서 제시하는 CMTPP 수리모형 구성을 위한 가정 사항은 UMTPP(Choi and Lee, 2010c)와 유사하되 제품의 구매요구량이 양의 정수이고 매장에서 제품 보유량도 이진형(*binary*)이 아닌 0 혹은 양의 정수라는 상이점이 있다. 또한, 의사결정 변수(*decision variable*) y_{ikl} 도 UMTPP에서는 이진형인데 반해 CMTPP에서는 0 혹은 양의 정수가 된다.

CMTPP 수리모형의 목적식 및 제약식은 UMTPP와 동일한 구조이다. 단, Choi and Lee(2010c) 연구에서의 UMTPP 수리모형의 제약식 (7)~제약식 (9)가 CMTPP에서는 식 (1), 식 (2)로 대체된다.

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

$$q_{il} \sum_{j \in M} x_{jik} - y_{ikl} \geq 0 \quad \forall i \in M^-, \forall k \in V, \forall l \in N \quad (2)$$

식 (1), 식 (2)는 특정 매장을 포함하는 경로가 해에 포함이 되어야 해당 매장에서의 제품 구매가 가능하고 구매 가능량은 해당 매장의 보유량을 초과할 수 없다는 의미가 된다.

2.2 CMTTP 해법

본 절에서는 CMTTP 해결을 위한 휴리스틱 알고리즘인 GVAH (Generalized Vehicle Allocation Heuristic)를 제시한다. GVAH는 Golden *et al.*(1981)의 GSH 및 Ong(1982)의 TRH를 기반으로 초기 경로 생성, 경로 개선, 차량별 매장할당의 절차로 구성된다. 초기경로 생성에는 GSH, 경로개선에는 TRH를 적용하여 하나의 단일 경로를 형성하고 이 경로에 포함된 매장을 실행가능성(feasibility)을 보장시키며 복수의 차량에 할당하는 개념이다. 이때, GSH, TRH의 단순적용이 아닌 MTPP에서의 실행가능성 보장을 위해 수정하여 적용하였고 단일 경로 생성 시 이동비용의 절감을 위해 3-opt 알고리즘을 적용하였다. Lin(1965)이 제안한 순환로(cycle)에서 k개의 호(arc)를 다른 k개의 호로 대체하는 K-optimal 알고리즘은 매우 효율적인 휴리스틱 기법으로 알려져 있으며 그 중 k = 3을 적용하는 3-opt 알고리즘이 일반적으로 많이 사용되기 때문이다. 또한 차량별 매장할당 알고리즘을 통해 기존의 단일 구매자를 고려한 TPP의 해법으로는 해결 불가능한 MTPP를 해결하였다.

알고리즘 소개 전에 다음을 정의한다. 차고지를 v_1 , 현재 경로를 α , 현재 경로에 포함되지 않은 임의의 매장을 q , 매장 i 에서 판매하는 제품 l 의 가격을 $b(i, l)$, 매장 i, j 간 이동비용을 $c(i, j)$, 제품 l 의 구매요구량을 $d(l)$ 라 한다. 이 때, $f(\alpha, l)$ 는 현재 경로 내 매장에서 판매하는 제품 l 의 최저가격, $g(\alpha, q, l)$ 는 q 가 현재 경로에 포함됨에 따른 제품 l 가격의 감소, 그리고 $s(i, j, q)$ 는 q 가 현재 경로 내의 두 인접한 매장 i, j 사이에 삽입될 때의 비용의 절감을 의미하며 아래 식 (3)~식 (5)와 같이 정의된다.

$$f(\alpha, l) = \min \{b(i, l) | i \in \alpha\} \quad (3)$$

$$g(\alpha, q, l) = \max \{f(\alpha, l) \times d(l) - b(q, l) \times d(l), 0\} \quad (4)$$

$$s(i, j, q) = c(i, j) - c(i, q) - c(q, j) + \sum_{l=1}^n g(\alpha, q, l) \quad (5)$$

GVAH 알고리즘의 절차는 다음과 같다. Step 1-1~Step 1-7은 초기경로 생성, Step 2-1~Step 2-5는 경로 개선, 그리고 Step 3-1~Step 3-10은 차량별 매장할당 알고리즘에 해당된다.

<Generalized Vehicle Allocation Heuristic procedure>

1. 초기경로 생성

Step 1-1: v_1 을 제외한 매장중 가장 많은 제품을 판매하는 매장

i^* 를 찾는다. 동점(tie)이 발생할 경우 $\sum_{l=1}^n b(i, l)$ 값이 최소인 i^* 를 선택한다. v_1 과 i^* 를 포함하는 경로 α 를 (v_1, i^*, v_1) 으로 초기화한다.

Step 1-2: v_1 과 i^* 를 제외한 α 에 포함되지 않은 매장 중 i^* 에서 판매하는 제품 k 를 제외한 품목 중 가장 많은 품목을 보유한 매장 j^* 을 선택하여 (v_1, i^*, j^*, v_1) 로 경로를 형성한다. 동점 발생 시 $\sum_{l=1}^n b(j, l)$ 값이 최소인 j^* 를 선택한다.

Step 1-3: 모든 제품 l 에 대한 수요량을 충족 시까지 Step 1-2를 반복한다.

Step 1-4: α 내 매장 방문순서를 3-opt 알고리즘을 통해 재배열한다.

Step 1-5: 모든 l 과 α 에 포함되지 않은 모든 q 에 대해 $f(\alpha, l), g(\alpha, q, l)$ 를 계산한다.

Step 1-6: 아래조건을 만족하는 α 에 포함되지 않은 q^* 와 α 에 포함된 상호 인접하는 매장 i^*, j^* 를 찾는다.

$$s(i^*, j^*, q^*) = \max \{s(i, j, q) | q \notin \alpha, i \text{ and } j \text{ are two adjacent markets} \in \alpha\}$$

Step 1-7: $s(i^*, j^*, q^*) \leq 0$ 이면 3-opt 알고리즘을 통해 방문 순서를 재배열한다. 그렇지 않으면 q^* 를 i^* 와 j^* 사이에 삽입하고 α 와 모든 l 에 대한 $f(\alpha, l)$, 모든 l 와 $q \notin \alpha$ 인 q 에 대한 $g(\alpha, q, l)$ 을 업데이트하고 Step 1-6으로 돌아간다.

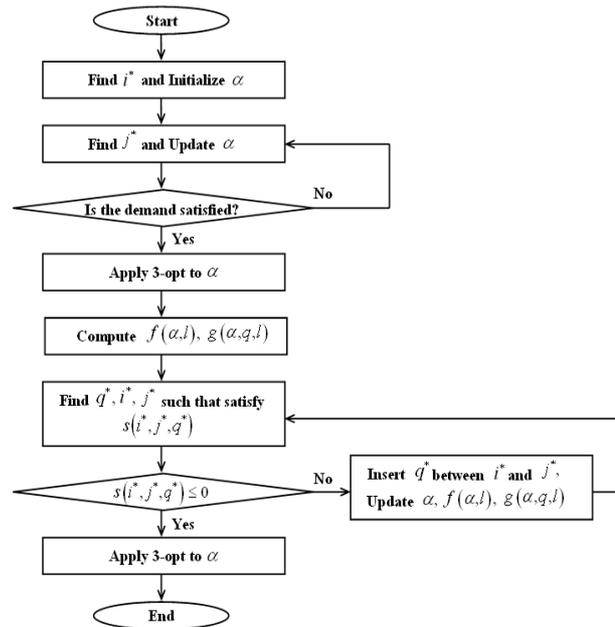


Figure 1. Initial tour construction procedure

<Figure 1>은 Step 1-1~1-7까지의 초기경로생성 알고리즘을 도식화한 것이다.

2. 경로 개선

Step 2-1: Step 1-7의 최종해를 초기해로 한다.

Step 2-2: 각 매장 $i(\in \alpha)$ 에 대해 i 가 α 에서 제거되었을 때의

구매 비용의 증가 $g(i)$ 를 아래와 같이 계산한다.

$$g(i) = \sum_{l=1}^n [\min\{b(j, l) \times d(l) | j \in \alpha, j \neq i\} - \min\{b(j, l) \times d(l) | j \in \alpha\}]$$

Step 2-3 : 아래 조건을 만족하는 α 내 세 개의 인접한 매장 i_+^* , i^* , i_-^* 를 찾는다.

$$s(i_+^*, i^*, i_-^*) = \max\{c(i_+, i) + c(i, i_-) - c(i_+, i_-) - g(i) | i_+, i, \text{ and } i_- \text{ are three adjacent markets } \in \alpha\}$$

Step 2-4 : $s(i_+^*, i^*, i_-^*) \leq 0$ 이면 Step 2-5로 간다. $s(i_+^*, i^*, i_-^*) > 0$ 이면 두 매장 i_+^* 와 i_-^* 를 연결함으로써 α 에서 매장 i^* 를 제거하고 Step 2-2로 간다.

Step 2-5 : 최종적으로 형성된 경로에 대해 3-opt 알고리즘을 적용하여 방문 순서를 재배열한다.

Step 2-1~2-5까지의 경로 개선 알고리즘을 도식화하면 <Figure 2>와 같다.

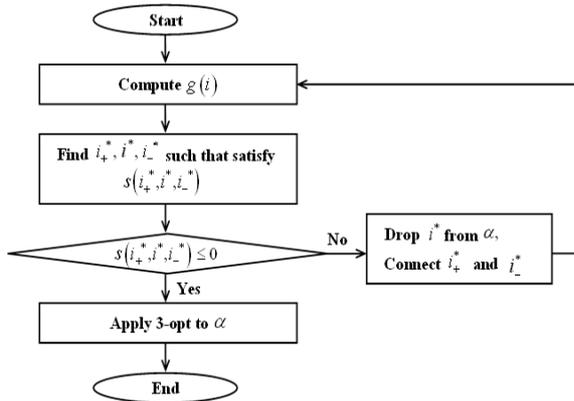


Figure 2. Tour improvement procedure

3. 차량별 매장 할당

Step 3-1 : α 내 매장에서 판매하는 제품 l 의 구매 우선순위를 $p(\alpha, l)$ 이라 정의한다. 이 때, α 내 매장 중 오직 한 매장에서만 제품 l 이 구매 가능할 경우 $p(\alpha, l)=1$ 로 설정한다.

Step 3-2 : $p(\alpha, l)=1$ 인 품목을 제외한 α 내 매장에서 판매하는 제품 중 동일 제품군에서 최저가인 제품의 구매 우선순위를 $p(\alpha, l)=2$ 로 설정한다.

Step 3-3 : Step 3-2의 방식과 동일하게 구매 우선순위가 부여되지 않은 모든 제품에 대해 가격이 낮은 순으로 구매 우선순위를 부여한다.

Step 3-4 : α 내 매장 i 에서 보유한 제품 l 의 수량을 $inv(i, l)$, $np(i) = \sum_{l=1}^n [inv(i, l) | i \in \alpha \text{ and } \{p(\alpha, l) = 1 \text{ or } 2\}]$ 로 각각 정의하고 모든 $i(i \in \alpha)$ 에 대해 $np(i)$ 를 계산한다.

Step 3-5 : $np(i)$ 가 큰 매장 순으로 차량을 할당하여 $p(\alpha, l)=1$ 인 제품을 우선 구매 후 $p(\alpha, l)=2$ 인 제품을 차량용량 범위 내에서 구매한다.

Step 3-6 : 모든 차량이 할당될 때까지 Step 3-5를 반복한다.

Step 3-7 : α 내 매장 중 차량이 방문되지 않은 매장 q 를 방문된 매장 중 가장 가까운 매장 i 를 방문한 차량의 다음 경로에 할당한다.

Step 3-8 : α 내 모든 매장이 방문될 때까지 Step 3-7을 반복한다.

Step 3-9 : 모든 제품에 대한 구매요구량 충족 시까지 각 차량별 경로 내 매장에서 $p(\alpha, l)$ 값이 낮은 순으로 차량용량 범위 내에서 물품을 구매한다.

Step 3-10 : 모든 차량이 차고지로 복귀하는 경로를 완성하고 총 이동비용, 총 구매비용, 그리고 이들의 합인 목적함수 값을 산출한다.

Step 3-1~3-10까지의 차량별 매장할당 알고리즘을 도식화하면 <Figure 3>과 같다.

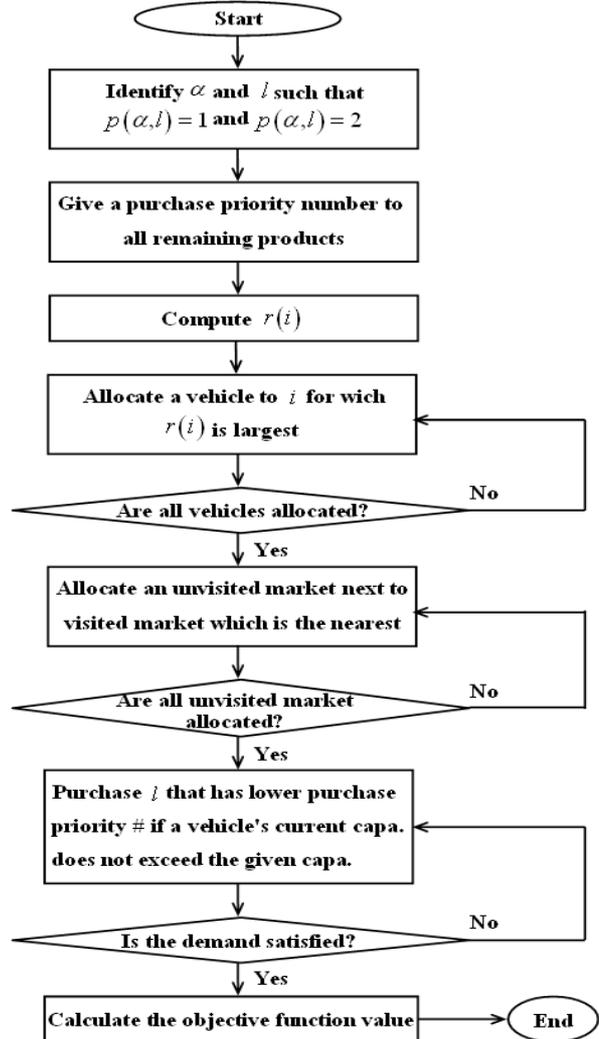


Figure 3. Vehicle Allocation Procedure

3. 실험

본 장의 구성은 다음과 같다. 제 3.1절에서 실험조건을 제시하고 제 3.2절에서 생성된 소규모 예제에 대해 CPLEX를 이용하여 최적해를 산출한 후 휴리스틱의 결과값을 최적해와 비교하여 알고리즘의 정확도를 검증한다. 제 3.3절에서 정확도가 검증된 알고리즘을 활용하여 대규모 예제에 대한 결과 값을 산출한다.

3.1 실험조건

실험의 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. 소규모 예제에서 매장 수 $m \in \{15, 20, 25\}$ 로 설정하여 최적해 산출 및 이와 비교하여 휴리스틱 기법의 성능을 검증하고 대규모 예제에서는 $m \in \{50, 75, 100\}$ 로 설정하여 휴리스틱을 통해 결과 값인 근사해를 산출한다. 이는 NP-hard 문제인 TPP의 특성상 매장 수가 많은 대규모 문제에서는 최적해를 구할 수 없어 휴리스틱의 성능을 검증할 수 없고 기존에 CMTTP에 대한 연구가 없어 CMTTP의 해결을 위한 본 연구의 알고리즘 성능을 비교할 대상이 없기 때문이다. 제품 수 n 은 m 과 동일하게 축소실험에서 $n \in \{15, 20, 25\}$, 확대실험에서 $n \in \{50, 75, 100\}$ 로 각각 설정한다. 매장 $i (i \in M)$ 에서 판매하는 제품 $l (l \in N)$ 의 수량 q_{il} 은 1/3을 0으로 2/3를 [1, 5]로 부여하고, 가격 b_{il} 은 q_{il} 의 값이 0이 아닌 제품에 대해 [10, 30]로 무작위로 생성하여 부여한다. 단, 차고지에서는 어떠한 제품도 보유하지 않으므로 q_{il} 및 b_{il} 의 값을 모두 0으로 설정한다. 제품별 구매요구량 d_l 은 [1, 5] 구간에서 무작위로 생성하여 부여한다. 소규모 예제에 대한 실험에서 ILOG CPLEX ver. 11.1을 활용하여 최적해를 산출하고 동일 예제에 대해 휴

리스틱 기법을 통해 산출된 결과를 비교하여 알고리즘의 성능을 검증한다. 대규모 예제에 대한 실험에서는 성능이 검증된 알고리즘을 통해 근사해를 제시한다.

3.2 소규모 예제 실험 및 알고리즘 정확도 검증

소규모 예제에 대한 실험에서는 제 3.1절의 조건에 따라 생성된 9가지 유형의 문제에 대해 유형별 10개씩 총 90개의 예제를 생성하여 CPLEX를 통해 최적해인 목적함수 값과 계산시간의 평균값을 산출한다. 이 때, 매장간 이동비용 행렬 구성시 동일 매장간 이동비용은 Big M으로 설정하고 90개 예제 공히 차량의 용량은 30으로 고정한다. 또한 생성된 구매요구량의 합계에 대해 차량 용량을 30으로 설정 시 이를 충족 가능한 차량 대수의 하한을 적용한다. 실험결과는 <Table 1>과 같다. <Table 1>의 CPLEX를 통한 최적해 결과에서 계산시간은 매장 수 및 제품 수에 공히 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 특히, 제품 수 증가 보다는 매장 수 증가에 따라 계산시간이 급격히 증가하고 매장 수 및 제품 수가 25인 예제의 경우 평균 계산시간이 약 4,373초로 도출되어 NP-hard의 특성을 보인다.

<Table 1>의 근사 최적해는 Pentium IV(2.13GHz, 512MB RAM) PC 환경 하에서 Visual C++ v.6.0으로 구현한 GVAH를 적용하여 산출한 결과이다. 이 때, 알고리즘의 정확성은 식 (6)의 공식에 의해 CPLEX로 도출된 최적해와 GVAH로 산출된 근사해 간의 Gap(%)을 기준으로 판단한다.

$$\text{Gap}(\%) = \frac{(\text{근사해} - \text{최적해})}{\text{최적해}} \times 100 \quad (6)$$

<Table 1>에서 GVAH에 의해 산출된 근사해의 최적해와의 Gap은 평균 6.64%이고 최저 5.02%, 최고 9.38%이다. 계산시간은 CPLEX의 경우 평균 약 872초이고 매장 및 제품 수가 25인 경우 약 4,000초 이상이 소요된 반면 GVAH는 평균 1초로 매우

Table 1. Experiment Results for the Small Size Instances

Size				Optimal solution(CPLEX)		Near optimal solution(GVAH)		Gap (%)
m	n	Total demand	Number of vehicles	Objective function value	Computing time (Sec.)	Objective function value	Computing time (Sec.)	
15	15	42.3	2	654.5	1.05	687.3	1	5.02
	20	55.5	2	869.9	32.74	915.5	1	5.25
	25	74.9	3	1,143.7	32.88	1,212.1	1	5.99
20	15	43.8	2	722.9	12.2	775.9	1	7.37
	20	55.8	2	895.1	41.18	978.9	1	9.38
	25	74.6	3	1,124	422.1	1,203.7	1	7.15
25	15	43.4	2	655	113.6	693	1	5.82
	20	56.1	2	935.7	2,820.3	1,004	1	7.29
	25	73.8	3	1,094.1	4,373.7	1,165.3	1	6.52
Average		57.80	2.33	899.43	872.19	959.52	1	6.64

짧은 시간 내에 해를 도출하였다.

3.3 대규모 예제 실험

대규모 예제에 대한 실험 시 기타 조건은 소규모 예제 실험과 동일하게 적용하되 차량용량은 모든 경우에 대해 100으로 고정한다. 이에 따라 각 경우별 차량대수는 구매요구량을 충족 가능한 차량 대수의 하한을 적용한다. $m = n \in \{50, 75, 100\}$ 인 대규모 예제에 대해 GVAH를 적용하여 도출한 실험결과는 <Table 2>와 같다. 9개 유형별로 10개씩 생성한 총 90개의 예제에 대해 GVAH로 평균 1.1초 이내에 근사해를 도출하였고 평균 15.46개의 매장을 방문하였다.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 다품목 소량구매에 효율적인 UMTTP를 일반화하여 다품목 대량구매에 적합한 CMTTP의 수리모형을 고찰하고 이를 해결하기 위한 휴리스틱 기법인 GVAH를 제시하였다. 상용 최적화 도구인 CPLEX를 통해 소규모 예제에서 최적해를 구한 후 이를 휴리스틱의 결과값과 비교하여 알고리즘을 검증하고 대규모 예제에 대한 근사해를 도출하였다. 실험결과 GVAH는 계산시간 측면에서는 매우 탁월하나 최적해와의 오차 측면에서는 평균 6.64%로 크게 만족할 만한 성능을 보이지는 않는다.

향후에는 CMTTP 해결을 위한 새로운 휴리스틱을 개발하여 본 연구에서 제시한 GVAH 기법과 그 성능을 비교하는 연구가 필요하리라 판단된다. 특히, 계산시간보다는 목적함수값을 개선 가능한 메타 휴리스틱을 포함한 다양한 휴리스틱의 개발이 요구된다. 또한, 본 연구에서는 실제 기업의 조달물류에 관련된 데이터를 구할 수 없어 실험에 필요한 데이터를 임의로 생성하여 적용하였다. 향후 실제 기업현장에서 수행되는 조달물

류에 대한 데이터를 획득하여 실험 후 물류의 효율성 향상 및 이를 통한 비용 절감을 도모할 수 있다면 보다 가치 있는 연구가 될 것이다.

참고문헌

- Angelelli, E., Mansini, R., and Vindigni, M. (2008), Exploring greedy criteria for the dynamic traveling purchaser problem, *Central European Journal of Operations Research*, 17(2), 141-158.
- Boctor, F. F., Laporte, G., and Renaud, J. (2003), Heuristics for the traveling purchaser problem, *Computers and Operations Research*, 30, 491-504.
- Bontoux, B. and Feillet, D. (2008), Ant colony optimization for the traveling purchaser problem, *Computers and Operations Research*, 35, 628-637.
- Burstable, R. M. (1966), A heuristic method for a job sequencing problem, *Operational Research Quarterly*, 17, 291-304.
- Buzacott, J. A. and Dutta, S. K. (1971), Sequencing many jobs on a multipurpose facility, *Naval Research Logistics Quarterly*, 18, 75-82.
- Choi, M. J. (2010), The Multiple Traveling Purchaser Problem for Minimizing Logistics Response Time in Wartime, *Journal of the Korean Institute of Military Science and Technology*, 13(3), 431-437.
- Choi, M. J. and Lee, S. H. (2009), Periodic Heterogeneous Multiple Traveling Purchaser Problem for Refuse Logistics Optimization, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 9(2), 147-154.
- Choi, M. J. and Lee, S. H. (2010a), A Literature Review of the Traveling Purchaser Problem for Inbound Logistics Optimization, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 10(2), 1-12.
- Choi, M. J. and Lee, S. H. (2010b), Heterogeneous Multiple Traveling Purchaser Problem with Budget Constraint, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, 35(1), 111-124.
- Choi, M. J. and Lee, S. H. (2010c), Uncapacitated Multiple Traveling Purchaser Problem, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 36(2), 78-86.
- Current, J., Reville, C., and Cohon, J. (1984), The shortest covering path problem: an application of locational constraints to network design, *Journal of Regional Science*, 24, 161-183.
- Goldberg, M. C., Bagi, L. B., Goldberg, E. F. G. (2008), Transgenetic algorithm for the traveling purchaser problem, *European Journal of Operational Research*,

Table 2. Experiment results for the large size instances

Size				Near optimal solution	
m	n	Total demand	Number of vehicles	Number of markets in near optimal tour	Computing time(Sec.)
50	50	164.4	2	12.5	1
	75	187.7	2	15.5	1.2
	100	278.9	3	17.9	1.3
75	50	154.9	2	12.6	1.1
	75	181.1	2	13.5	1
	100	265.4	3	18.3	1.1
100	50	139.2	2	13.2	1
	75	184	2	16.7	1.1
	100	273.3	3	18.9	1.2
Average		203.21	2.33	15.46	1.11

199, 36-45.

Golden, B. L., Levy, L., and Dahl, R. (1981), Two generations of the traveling salesman problem, *Omega*, 9, 439-445.

Jain, R., Rivera, M. C., Moore, J.E., and Lake, J. A. (2003), Horizontal gene transfer accelerates genome innovation and evolution, *Molecular Biology and Evolution*, 20, 1598-1602.

Laporte, G., Riera-Ledesma, J., and Salazar-González, J. J. (2003), A branch and cut algorithm for the undirected traveling purchaser problem, *Operations Research*, 51(6), 142-152.

Lin, S. (1965), Computer solutions of the traveling salesman problem, *Bell System Tech. J.*, 44, 2245-2269.

Lomnicki, Z. A. (1996), Job scheduling, *Operational Research Quarterly*, 17, 314-316.

Mansini, R. and Tocchella, B. (2009), The traveling purchaser problem with budget constraint, *Computers and Operations Research*, 36, 2263-2274.

Margulis, L. (1992), Symbiosis in cell evolution, *Microbial communities in the archaean and proterozoic eon.*, W. H. Freeman.

Ong, H. L. (1982), Approximate algorithm for the traveling purchaser problem, *Operations Research Letters*, 1, 201-205.

Pearn, W. L. and Chien, R. C. (1998), Improved solutions for the traveling purchaser problem, *Computers and Operations Research*, 25, 879-885.

Ramesh, T. (1981), traveling purchaser problem. *Journal of the Operational Research Society of India*, 18, 78-91.

Ravi, R. and Salman, S. (1999), Approximation algorithms for the traveling purchaser problem and its variants in network design, *Lecture notes in computer science*, 1643, 29-40.

Riera-Ledesma, J. and Salazar-González, J. J. (2005a), A heuristic approach for the traveling purchaser problem, *European Journal of Operational Research*, 162, 142-152.

Riera-Ledesma, J. and Salazar-González, J. J. (2005b), The biobjective traveling purchaser problem, *European Journal of Operational Research*, 160, 599-613.

Riera-Ledesma, J. and Salazar-González, J. J. (2006), Solving the asymmetric traveling purchaser problem, *Annals of Operations Research*, 144, 83-97.

Singh, K. N. and van Oudheusden, D. L. (1997), A branch and bound algorithm for the traveling purchaser problem, *European Journal of Operational Research*, 97, 571-579.

Teeninga, A. and Volgenant, A. (2004), Improved heuristics for the traveling purchaser problem, *Computers and Operations Research*, 31, 139-150.

Voß, S. (1996), Dynamic tabu search strategies for the traveling purchaser problem, *Annals of Operations Research*, 63, 253-275.



최명진

공군사관학교 무기기초과학과 학사
 국방대학교 운영분석학과(OR) 석사
 국방대학교 운영분석학과(OR) 박사
 현재 : 공군 군수사령부
 관심분야 : SCM, 물류관리



이상현

육군사관학교 전기공학과 학사
 US Naval Postgraduate School OR 석사
 Georgia Institute of Technology 산업공학 박사
 현재 : 국방대학교 운영분석학과 교수
 관심분야 : 네트워크, 메타 휴리스틱, 로지스틱스, SCM