한국군사과학기술학회지 제13권 제3호, pp. 431~437, 2010년 6월

학술논문 체계공학 부문

전시 군수반응시간 최소화를 위한 복수 순회구매자 문제

The Multiple Traveling Purchaser Problem for Minimizing Logistics Response Time in Wartime

최 명 진*
Myung-Jin Choi

It's strongly needed to minimize the logistics response time for supporting military operations in wartime. In this paper, we suggest the ILP formulation for minimizing logistics response time in wartime. Main structure of this formulation is based on the traveling purchaser problem(TPP) which is a generalized form of the well-known traveling salesman problem(TSP). In the case of general TPP, objective function is to minimize the sum of traveling cost and purchase cost. But, in this study, objective fuction is to minimize traveling cost only. That's why it's more important to minimize traveling cost(time or distance) than purchase cost in wartime. We find out optimal solution of this problem by using ILOG OPL STUDIO(CPLEX v.11.1) and do the sensitive analysis about computing time according to number of operated vehicles.

Keywords : Logistics Response Time(군수 반응시간), Traveling Purchaser Problem(순회 구매자 문제)

1. 서 론

전시 또는 이에 준하는 국가비상사태시 군사작전에 소요되는 물자에 대한 군수지원은 초기지원과 후속지원으로 구분된다. 초기지원은 각급 부대에서 보유중인 운영재고, 전시대비 비축물자, 산업동원 물자중 긴급단계 동원물자 등으로 이루어진다. 후속지원은 산업동원 물자중 정상단계 동원물자, 미 정부 대외군사 판매법에 의한 FMS(Foreign Military Sale) 도입물자 등 다양한 조달원을 통해 이루어진다. 그러나 예기치 못한 적군 혹은 테러집단의 기습 및 선제공격으로 군 및 민간 군수시설이 대량 파괴되는 상황이 발생한다면 군수물자 조달에 심각한 차질이 발생 가능하다. 이러한 상황을 대비하기 위해 대한민국 정부는 징발법[1]을 법률로 제정하였다. 징발법에 따르면 피징발인이 징발목적물을 지정기일내에 지정장소에 제출하여야 한다. 그러나 비상사태시 피징발인의 수송수단 부재 등의 사유로 지정장소로 물자를 이송하지 못하는 경우가 발생가능하고 또한 다수 지역에 산재된 필요물자를 군 수송수단에 의해 군이 일괄적으로 수거 및 운송하는 것이 군작전상 효율적인 경우도 예상가능하다. 본 연구는 필요물자를 군이 군 수송수단을 통해 직접 수거하여 해당부대로 운송하되 소요 시간(거리)을 최소하 하는 모형의 구축을 다룬다. 이러한 유형의 문제는 유통기한이 짧아 최대한 빠른 시간 내에 운송이 요구되는 농수산물이나 기타 긴급물자의 수거 및 운송에

† 2010년 3월 26일 접수~2010년 5월 13일 게재승인
* 국방대학교(National Defense University)
책임저자 : 최명진(ch01mj@naver.com)

도 응용이 가능하다. 본 연구에서는 상기 최소 시간 내에 필요물자를 수거 및 운송하는 개념을 군수 반응시간(logistics response time) 최소화로 정의한다. 즉 군수 물자의 수요 발생 후 필요 물자를 최대한 빠른 시간 내에 필요 장소에 공급한다는 의미이다.

본 연구의 근간이 되는 모형은 잘 알려진 순회판매자문제(TSP : Traveling Salesman Problem)의 일반화된 형태인 순회구매자문제(TPP : Traveling Purchaser Problem)이다. TPP는 다음과 같이 정의된다. 구매해야 할 n개의 제품(product)집합이 존재하고 각 제품들은 구매요구량이 있으며 구매자는 최초에 차고지에 위치한다. 또한 하나 이상의 제품을 특정 수량 만큼 판매하는 m개의 매장(market)집합이 존재하고 개별 제품의 가격은 해당 제품을 판매하는 매장에 따라 상이하며 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. 본 연구는 긴급 상황에서의 필요물자 획득시간 최소화에 초점을 두어 일반적인 TPP의 목적함수인 구매비용과 이동비용에서 구매비용을 제거하고 이동비용(시간 혹은 거리) 최소화를 목적으로 한다. 이는 징발시 제품의 가격을 따지는 경제성의 논리보다는 최대한 빠른 시간 안에 필요물품을 조달하는 것이 우선시되는 군사작전상의 논리를 반영한 것이다. TPP는 특정 제품 l을 판매하는 매장 i에서 해당 제품의 구매요구량 d_l을 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 i에서 구매 가능한 제품 l의 수량)의 문제인 UTPP (Uncapacitated TPP, Unlimited TPP, 혹은 Unrestricted TPP)와 한 매장에서 구매요구량을 충족할 수 없어 다른 매장에서 요구량의 잔여분을 구매하는 즉 분할 구매가 허용되는 경우의 문제인 CTPP(Capacitated TPP, Limited TPP, 혹은 Restricted TPP)로 구분된다. 본 연구는 현실 적용에 있어 UTPP보다 더욱 일반화된 형태라 할 수 있는 CTPP를 근간으로 하되 필요물량의 수거 및 운송시간 최소화의 목적에 맞게 이를 변형한 문제를 다룬다. 2장에서 CTPP에 관련된 기존문헌을 고찰하고 3장에서 수리모형을 제시하며 4장에서 실험을 다루고, 5장에서 결론과 향후 연구 과제를 제시한다.

2. 기존문헌 고찰

현재 알려진 TPP는 Ramesh[10]에 의해 최초로 제안되었으나 이는 매장에서의 구매물량 제한이 없는 UTPP에 해당된다. 구매물량의 제한이 있는 일반화된 형태의 TPP인 CTPP는 Laporte et al.[6]에 의해 최초로 제안되었다. Laporte et al.[6]은 UTPP와 CTPP에 모두 적용 가능한 MAH(Market Adding Heuristic)를 개발하여 최적해 기법인 분지절단(branch and cut) 알고리듬에 활용하였다. 이 휴리스틱 기법은 수요량을 만족하지 못하는 제품을 판매하는 매장을 반복적으로 경로에 추가하여 경로를 점진적으로 확장하는 개념이다.

Boctor et al.[3]은 타부서치(tabu search)에 기반한 PH (Perturbation Heuristics) 기법을 제안하였다. PH는 세 가지로 UTPP의 해결을 위한 UPH1과 UPH2, CTPP의 해결을 위한 CPH가 그것이다. 이 세 가지 기법은 매장제거(market drop), 매장추가(market add), 매장교환(market exchange), TSP 휴리스틱, 최저비용삽입(cheapest insertion), 두 매장제거(double market drop), 두 매장교환(double market exchange)의 7가지 기본적 절차를 서로 다른 방법으로 혼합하여 사용하는 것이다.

Riera-Ledesma and Salazar-González[11]는 UTPP 및 CTPP의 해결을 위해 두 개의 이웃을 활용 가능한 경우의 반복적 지역 탐색(LS : Local Search) 알고리듬을 제안하였다. 첫 번째 이웃에 대한 절차는 주어진 실행가능 경로 내의 연속하는 교점들을 그 경로에 속하지 않는 노드들로 반복적으로 변경시키는 것으로 연속하는 교점의 수는 지역 최적해가 구해지면 감소된다. 두 번째 절차는 목표값(objective value)의 감소를 충족하는 범위 내에서 가능한 많은 수의 교점들을 주어진 실행가능 경로 내에 삽입하는 것이다.

Goldbarg et al.[4]은 Jain et al.[5]의 수평 유전자 이동(horizontal gene transfer)과 Margulis[8]의 내공생(endosymbiosis) 개념을 적용한 휴리스틱인 TA (Transgenetic Algotithm)를 제안하였다.

Angelelli et al.[2]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.

Mansini and Tocchella[7]는 목적함수 내에 이동비용과 구매비용이 고려되었던 기존의 TPP 연구와 차별화하여 이동비용이 목적함수 내에서 최소화되고 구매비용은 제약식 내에서 한계가 설정되는 예산 제약하 TPP (TPP-B, TPP with budget constraint)를 제안하였다. TPP -B는 기존의 CTPP와 거의 동일한 구조이나 목적함수가 이동비용 최소화이고 총 구매비용의 한계치는 제약식 내에 설정된다.

기존 TPP 연구는 구매자(차량) 수가 1인 단일 구매자 문제에 국한된다. 그러나 전시 군수물자 징발을 위한 모형 수립을 위해서는 다수의 수송차량이 고려되어야 하므로 본 연구는 단일 구매자만을 가정한 기존 TPP를 일반화하여 v명의 구매자(차량)가 제품의 구매를 위해 경로를 형성하는 mCTPP(multiple CTPP)를 다룬다. 단 mCTPP를 근간으로 하되 목적함수에서 구매비용을 제거하고 이동비용(시간 혹은 거리)만을 고려하되 이를 최소로 하는 변형된 문제이다. 군수 물자의 수요가 발생한 군 부대에 해당하는 차고지의 수는 1로 설정하였고 구매자(차량)의 제품 구매(적재) 용량 제약을 반영하여 현실성을 높였다.

3. 수리모형

가. 모형개요 및 가정사항

본 연구에서 제시하는 전시 군수반응시간 최소화를 위한 TPP는 단일 차고지(부대)에 v명의 구매자(차량)가 존재하고 각 차량은 차고지에서 출발 및 복귀하며 n가지 제품의 구매요구량을 충족하면서 매장 간 이동비용(시간 혹은 거리)을 최소화하는 문제이다.

mCTPP 수리모형 구축을 위한 가정사항은 다음과 같다.

- 단일 차고지에 v대의 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 구매요구량은 반드시 충족되어야 한다.
- 차량은 구매(적재) 가능 용량에 대한 제약이 있다.

나. 수리모형

<표기>

m : i로 색인(index)되는 매장의 수, $i \in M = \{1, \cdots, m\}$, $i = 1$: 차고지

n : l로 색인되는 제품의 수, $l \in N = \{1, \cdots, n\}$

v : k로 색인되는 차량의 수, $k \in V = \{1, \cdots, v\}$

c_{ij} : 매장 i에서 매장 j로의 이동비용, $j \in M$, $j = 1$: 차고지

d_l : 제품 l의 구매요구량

q_{il} : 매장 i에서 구매 가능한 제품 l의 수량

g_k : 차량 k의 적재용량

<의사결정 변수>

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

y_{ikl} : 차량 k가 매장 i에서 구매한 제품 l의 수량

$$min \sum_{i \in M} \sum_{j \in M} \left(c_{ij} \sum_{k \in V} x_{ijk} \right) \quad (1)$$

subject to

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

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

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

$$u_i - u_j + m \sum_{k \in V} x_{ijk} \leq m - 1 \qquad \forall i \in M, \forall j \in M, 2 \leq i \neq j \leq m \quad (5)$$
u_i, u_j : arbitrary

$$\sum_{i \in M \setminus \{1\}} \sum_{k \in V} y_{ikl} = d_l \qquad \forall l \in N \quad (6)$$

$$q_{il} \sum_{j \in M} x_{ijk} - y_{ikl} \geq 0 \qquad \forall i \in M \setminus \{1\}, \forall k \in V, \forall l \in N \quad (7)$$

$$q_{il} \sum_{j \in M} x_{jik} - y_{ikl} \geq 0 \qquad \forall i \in M \setminus \{1\}, \forall k \in V, \forall l \in N \quad (8)$$

$$\sum_{i \in M \setminus \{1\}} \sum_{l \in N} y_{ikl} \leq g_k \qquad \forall k \in V \quad (9)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \qquad \forall i \in M, \forall j \in M, \forall k \in V \quad (10)$$

$$y_{ikl} \geq 0 \qquad \forall i \in M \setminus \{1\}, \forall k \in V, \forall l \in N \quad (11)$$

위 수리모형의 목적식 (1)은 해에 포함된 경로에 대한 총 이동비용(시간 혹은 거리)을 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 depot에서 1회만 나갈 수 있다는 의미이다. 식 (5)는 Miller et al.[9]이 제시한 TSP에서의 부분경로 방지 제약식(SECs : Subtour Elimination Constraints)의 확장된 형태로 mCTPP에서도 동일하게 적용된다. 식 (6)은 모든 제품은 정확히 요구수량 만큼만 구매되어야 한다는 의미이다. 식 (7), (8)은 특정 매장을 포함하는 경로가 해에 포함이 되어야 해당 매장에서의 제품 구매가 가능하고 제품 보유량이 있어야 구매 가능하며 구매 가능한 수량은 해당 매장의 판매량을 초과할 수 없다는 의미이다. 식 (9)는 차량의 적재 용량 제약을 나타낸다. 식 (10), (11)은 결정변수의 조건이다.

4. 실 험

가. 실험조건 및 예제

본 연구의 실험에서는 전시 혹은 비상사태를 가정한 예제를 구성하고 생성된 데이터를 바탕으로 ILOG사의 최적화 도구인 CPLEX ver. 11.1을 활용하여 최적해를 산출한다. 예제 구성시 가정사항 및 조건은 다음과 같다. 먼저, 군작전상의 이유로 필요한 군수물자를 자체 차량에 의해 최단시간에 획득 후 부대로 수송해야 하는 경우를 가정한다. 차량이 출발 및 복귀하는 부대(차고지)의 수는 1이며 매장의 수 m은 차고지를 포함하여 20으로 설정하여 100×100 2차원 유클리드 평면상에 위치 좌표를 일양분포(uniform distribution)에 따라 무작위로 생성한다. 필요품목수 n은 징발법[1]에 명시된 음식료품, 의약품, 건축 및 축성용재, 화학용품, 연료, 통신용품, 기타 소모품을 반영하여 7로 설정한다. 차량의 용량은 군에서 일반적으로 운용하는 화물차의 적재용량을 반영하여 1톤, 4.5톤, 9톤으로 각각 설정한다.

생성된 데이터는 다음과 같다. Fig. 1과 Table 1은 차고지를 포함한 매장의 2차원 공간상 위치와 매장간 상대거리를 각각 나타낸다. 부대(차고지)는 1번 노드로 설정하여 2번부터 20번 노드가 제품을 보유한 매장을 의미한다.

7종 필요품목의 구매요구량은 Table 2와 같이 임의로 설정하였다. 품목별로 음식료품에 1, 의약품에 2와 같이 식별번호를 부여하여 기타품목에 7번까지 총 7종의 품목에 대해 식별번호를 각각 부여하였다.

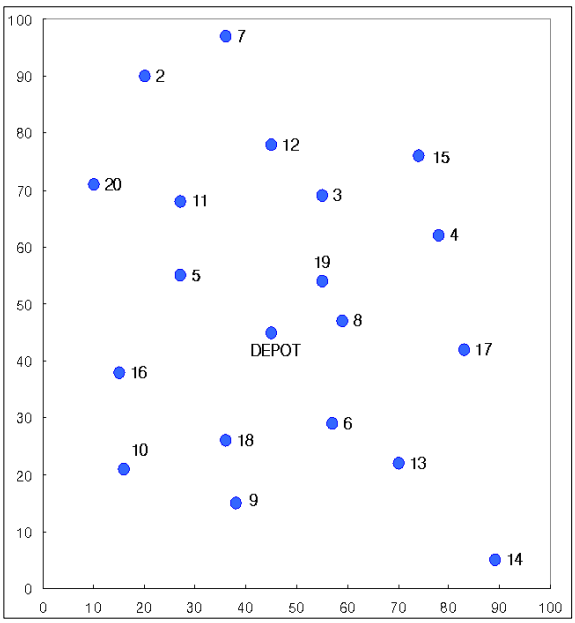


Fig. 1. 매장의 2차원 공간상 위치

Table 1. 매장 간 상대거리

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	51	26	37	20	20	52	14	30	37	29	33	33	59	42	30	38	21	13	43
2	51	0	40	64	35	71	17	58	77	69	23	27	84	109	55	52	79	65	50	21
3	26	40	0	24	31	40	33	22	56	61	28	13	49	72	20	50	38	47	15	45
4	37	64	24	0	51	39	54	24	61	74	51	36	40	58	14	67	20	55	24	68
5	20	35	31	51	0	39	42	32	41	35	13	29	54	79	51	20	57	30	28	23
6	20	71	40	39	39	0	71	18	23	41	49	50	14	40	49	42	29	21	25	63
7	52	17	33	54	42	71	0	55	82	78	30	21	82	106	43	62	72	71	47	36
8	14	58	22	24	32	18	55	0	38	50	38	34	27	51	32	44	24	31	8	54
9	30	77	56	61	41	23	82	38	0	22	54	63	32	51	70	32	52	11	42	62
10	37	69	61	74	35	41	78	50	22	0	48	63	54	74	79	17	70	20	51	50
11	29	23	28	51	13	49	30	38	54	48	0	20	62	88	47	32	61	42	31	17
12	33	27	13	36	29	50	21	34	63	63	20	0	61	85	29	50	52	52	26	35
13	33	84	49	40	54	14	82	27	32	54	62	61	0	25	54	57	23	34	35	77
14	59	109	72	58	79	40	106	51	51	74	88	85	25	0	72	81	37	57	59	102
15	42	55	20	14	51	49	43	32	70	79	47	29	54	72	0	70	35	62	29	64
16	30	52	50	67	20	42	62	44	32	17	32	50	57	81	70	0	68	24	43	33
17	38	79	38	20	57	29	72	24	52	70	61	52	23	37	35	68	0	49	30	78
18	21	65	47	55	30	21	71	31	11	20	42	52	34	57	62	24	49	0	33	51
19	13	50	15	24	28	25	47	8	42	51	31	26	35	59	29	43	30	33	0	48
20	43	21	45	68	23	63	36	54	62	50	17	35	77	102	64	33	78	51	48	0

Table 2. 품목별 구매요구량

구분	음식	의약	건축 자재	화학 제품	연료	통신 장비	기타	계
식별번호	1	2	3	4	5	6	7	-
수요(kg)	6,000	800	1,800	1,100	2,500	450	1,800	14,450

Table 3은 임의로 생성한 매장별 보유 품목의 수량(kg)을 나타낸다. 1번 노드는 물품을 필요로 하는 부대를 나타내므로 각 물품의 보유량을 0으로 설정하였고 각 품목별 보유량의 합은 수요량보다 크도록 실행가능(feasible)하게 설정하였다.

Table 3 생성 시 품목별 이를 판매하는 매장의 현실적 특성을 고려하여 연료를 의미하는 5번 품목, 화학제품을 의미하는 4번 품목이 동일 매장에서 판매되는 것으로 설정하였고 음식료품, 의약품, 건축 및 축성용재, 화학용품 등을 판매하는 3번과 16번 매장은 다양한 품목을 판매하는 대형 할인매장을 표현하게 하여 이러한 종류의 매장에서 판매하지 않는 연료를 배제하였다. 의약품만을 판매하는 2, 4, 13, 20번 매장은 병원 혹은 약국을 표현한 것이며 18번 매장은 음식료품만을 취급하는 전문매장을 나타낸 것이다.

또한 운용차량은 1톤, 4.5톤, 9톤 각 1대씩으로 설정하였고 이는 용량별 차종을 모두 운용했을 경우에 있어 구매 요구량인 14,450을 충족 가능한 실행가능(feasible) 하한(lower bound)이다.

Table 3. 매장별 재고량

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	630	0	0	0	0	0
3	8,600	350	560	830	0	0	990
4	0	4,300	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	780	280
6	0	0	0	0	5,400	0	0
7	0	0	0	510	0	0	0
8	0	0	0	430	0	0	0
9	0	0	0	400	4,600	0	85
10	0	0	0	520	2,300	0	0
11	0	0	0	0	0	0	950
12	0	0	0	0	0	0	360
13	0	590	0	0	0	0	0
14	5,200	0	0	0	0	0	430
15	0	0	0	0	3,700	0	0
16	7,100	420	810	530	0	80	130
17	0	0	730	0	0	940	440
18	3,500	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	1,700	0	300
20	0	930	0	0	0	0	0
계	24,400	7,220	2,100	3,220	17,700	1,800	3,965

나. 실험결과 및 분석

4절 가항의 예제에 대해 CPLEX를 사용하여 도출한 최적해인 최소운행거리(시간)는 204이고 계산시간은 15.04초가 소요되었다. 이 때 각 차량(종)별 운송량, 경로, 이동거리(시간)는 Table 4와 같이 도출되었다.

Table 4. 각 차량 경로 및 운송량

차량 ID	차량용량 (kg)	운송량 (kg)	경로	이동 거리
1	1,000	1,000	1-19-1	26
2	4,500	4,450	1-16-1	60
3	9,000	9,000	1-8-17-4-15-3-1	118

Table 5는 각 차량별 형성된 최적 경로 내에서의 매장에서 구매한 물품의 수량을 나타낸다. 적재용량 1,000kg인 차량 1은 19번 매장에서 5번 물품과 7번 물품을 700, 300kg씩 각각 획득하였으며 적재용량 4,500 kg인 2번 차량은 16번 매장에서 1, 2, 3, 4, 6, 7번 품목을 2,780, 420, 510, 530, 80, 130kg씩 각각 획득하였다. 적재용량 9,000kg인 3번 차량은 5개 매장에서 차량 적재용량과 동일한 9,000kg의 물품을 구매하였다. 구매한 각 물품의 합은 Table 2의 물품별 구매요구량과 정확히 일치함을 확인할 수 있다.

Table 5. 각 차량의 매장별 구매수량

차량 번호	매장 번호	물품 식별번호							
		1	2	3	4	5	6	7	계
1	19	0	0	0	0	700	0	300	1,000
2	16	2,780	420	510	530	0	80	130	4,450
3	8	0	0	0	430	0	0	0	430
	17	0	0	730	0	0	370	380	1,480
	4	0	30	0	0	0	0	0	30
	15	0	0	0	0	1,800	0	0	1,800
	3	3,220	350	560	140	0	0	990	5,260
계		6,000	800	1,800	1,100	2,500	450	1,800	14,450

다. 민감도 분석

본 모형의 근간이 되는 TPP는 NP-hard로 문제의 크기에 따라 계산시간이 급격히 증가한다. 따라서 문제 크기의 증가에 따른 계산 시간의 변화를 고찰할 필요

성이 요구된다. 본 실험에서는 m과 n이 고정된 20과 7의 값을 가지므로 운용차량의 대수를 상이하게 하여 계산시간에 대한 민감도 분석을 실시한다. 적재용량이 각각 1톤, 4.5톤, 9톤인 3 종류 차량의 보유대수가 각각 충분하다는 가정 하에 요구물량인 14,450kg을 수거 및 운반하기 위한 실행 가능한 차량의 최소 필요대수(lower bound)를 Table 6과 같이 설정하여 각 경우별 계산시간의 변화를 고찰한다.

Table 6. 차량 필요 대수의 하한

Case	차량 필요 대수			
	1 ton	4.5 ton	9 ton	계
Case 1	0	0	2	2
Case 2	1	1	1	3
Case 3	0	4	0	4
Case 4	2	3	0	5
Case 5	6	0	1	7
Case 6	6	2	0	8
Case 7	11	1	0	12
Case 8	15	0	0	15

실험결과는 Table 7과 같다. 운용차량 대수가 증가할수록 목적함수 값 및 계산시간이 증가함을 알 수 있다. Case 7의 경우는 실행가능 해는 도출되었으나 CPLEX의 메모리 초과로 인해 최적해는 산출되지 않았으며 case 8의 경우는 실행가능해를 얻을 수 없었다. 이는 1톤 차량 15대만을 이용해서는 필요물량을 구매하여 부대로 복귀할 수 있는 경로를 구성할 수 없음을 의미한다.

Table 7. Case별 결과 비교

Case	차량대수	최적해	계산시간(Sec)
1	2	180	4.51
2	3	204	15.04
3	4	245	283.92
4	5	272	126.79
5	7	372	613.37
6	8	414	860.6
7	12	-	-
8	15	infeasible	infeasible

Fig. 2와 Fig. 3은 Case 1부터 6까지 운행차량 대수 증가에 대한 목적함수 값과 계산시간의 변화를 각각 나타낸다.

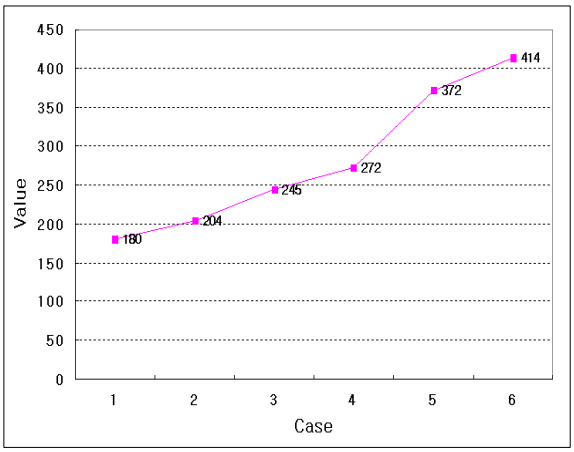


Fig. 2. Case별 목적함수 값

Fig. 2에서 각 Case별 운행차량 대수 증가에 따라 매장 간 이동거리(시간)를 의미하는 목적함수 값이 증가함을 알 수 있다. 이는 운행된 차량이 많을수록 유클리드 공간상에서의 삼각 부등식(triangular inequality)의 성질에 따라 자명한 현상이다. 예를 들어, 한 대의 차량이 두 곳의 매장을 방문하고 부대로 복귀하는 것이 최적 경로인 경우 두 대의 차량을 운용한다면 두 대의 차량이 각 한 곳씩의 매장을 방문하고 부대로 복귀해야 하는데 이 경우 후자의 이동거리가 커짐은 당연한 현상이다.

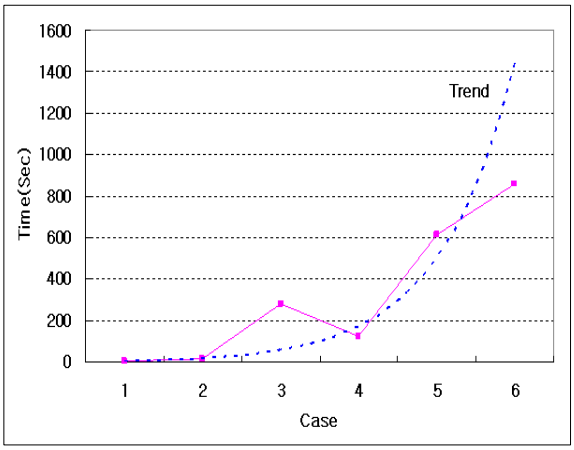


Fig. 3. Case별 계산시간

Fig. 3에서 추세선(trend)에 따르면 운용차량 대수 증가에 따라 계산시간이 지수적으로 증가함을 알 수 있다.

결론적으로, 차량의 적재용량이 모든 구매요구량을 충족할 수 있을 만큼 충분하다면 가능한 운용차량 대수를 줄이는 것이 이동거리(시간)를 최소화하는 것이다.

5. 결론 및 향후 연구과제

전시 혹은 비상사태 시 군의 원활한 작전수행을 위해서는 최단시간에 필요 물자를 필요 장소로 보급하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 전시 군 및 민간 군수시설의 대량파괴로 인해 군수물자의 수급이 원활하지 못한 경우에 있어 군의 자체 수송수단으로 최단시간 내에 인근 매장에서 필요물자를 획득(징발)하여 수요를 충당하는 문제에 대해 다루었다. 이를 위해 TPP를 근간으로 하되 현실적인 문제의 적용을 위해 구매자 수를 복수로 하였으며 구매자(차량)의 적재용량도 상이하게(heterogeneous) 설정하였다. 또한 일반적인 TPP의 목적함수인 이동비용과 구매비용의 합에서 전시에는 의미가 없다고 판단되는 구매비용을 제거하고 이동비용만을 고려하였다. 실험에는 상용 최적화 도구인 CPLEX를 활용하여 최적해를 도출하였고 차량 대수 증가에 따른 계산시간의 변화를 고찰하였다.

본 실험은 매장의 수를 20, 제품 수를 7로 고정하여 최적해를 도출하였으나 문제의 크기(size)가 커질 경우 NP-hard 문제의 특성상 최적해 도출이 사실상 불가능할 것으로 예상되므로 휴리스틱 및 메타 휴리스틱 기법의 개발이 요구된다. 또한 적용분야에 있어서도 군 관련문제 뿐만 아니라 민간 분야에서 구매비용 절감보다 필요물품을 필요량 만큼 최대한 빠른 시간 내에 구매하는 것이 보다 더 중요한 경우의 문제에 대해 적용가능하다.

Reference

[1] 징발법, 법률 제8319호, 2007

[2] Angelelli, E., Mansini, R., Vindigni, M., “Exploring Greedy Criteria for the Dynamic Traveling Purchaser Problem”, Central European Journal of Operations Research(Online Published in 2008).

[3] Boctor, F. F., Laporte, G., Renaud, J., “Heuristics for the Traveling Purchaser Problem”, Computers and Operations Research 30, pp. 491～504, 2003.

[4] Goldbarg, M. C., Bagi, L. B., Goldbarg, E. F. G., “Transgenetic Algorithm for the Traveling Purchaser Problem”, European Journal of Operational Research 199, pp. 36～45, 2008.

[5] Jain, R., Rivera, M. C., Moore, J. E., Lake, J. A., “Horizontal Gene Transfer Accelerates Genome Innovation and Evolution”, Molecular Biology and Evolution 20, pp. 1598～1602, 2003.

[6] Laporte, G., Riera-Ledesma, J., Salazar-González, J. J., “A Branch and Cut Algorithm for the Undirected Traveling Purchaser Problem”, Operations Research Vol. 51 No. 6, pp. 142～152, 2003.

[7] Mansini, R., Tocchella, B., “The Traveling Purchaser Problem with Budget Constraint”, Computers and Operations Research 36, pp. 2263～2274, 2009.

[8] Margulis, L., Symbiosis in Cell Evolution, Microbial Communities in the Archean and Proterozoic Eon., W.H. Freeman, 1992.

[9] Miller C. E., Tucker, A. W., Zemlin R. A., “Integer Programming Formulation of Traveling Salesman Problems”, Journal of Association for Computing Machinery 7, pp. 326～329, 1960.

[10] Ramesh, T., “Traveling Purchaser Problem”, Journal of the Operational Research Society of India 18, pp. 78～91, 1981.

[11] Riera-Ledesma, J., Salazar-González, J. J., “A Heuristic Approach for the Traveling Purchaser Problem”, European Journal of Operational Research 162, pp. 142～152, 2005.