

귀로수송소요를 고려한 차량경로문제에 관한 연구 (A Study on Vehicle Routing Problem Considering Homeward-route Transport Requirement)

박민우, 김동진*

Abstract

This paper presents optimal solutions for the following two problems ; (1) The vehicle routing problem with deadline considering homeward-route transport requirement ; (2) The problem of (1) with relaxed constraint that the vehicle cannot visit the depot during the trip.

That is, for the second problem, vehicle can visit the depot several times during the trip. The formulation and optimal solution we obtained outperform the existing ones proposed by other researchers in the sense of time and total distance traveled and the results can be applicable to short-haul local transport.

* 국방대학교 관리대학원

1. 서 론

야전교범 “수송운용”[8]에서 수송운용의 기본요건 4가지 중 능력의 최대이용에 대해 언급하고 있다. “전시에는 수송에 대한 소요가 능력을 초과할 경우가 많으므로 가용한 수송수단을 최대한 이용하여야 한다. 특히 수송수단의 유희화와 이동관리의 사각지역 발생 등을 억제하기 위하여 수송목적에 맞는 최적의 수송수단 선정 및 사용, 선정된 수송수단의 능력 낭비 방지 등 수송자원의 효율적인 운용이 필요하다”고 부연설명하고 있다.

또한 수송지원시 고려사항을 살펴보면 “수송능력은 보급품의 재고관리와 같이 재고 자산으로 축적되지 않으며 따라서 가용한 수송자산은 필요한 수송지원 임무에 최대한 사용되어야 한다.” 고 언급하고 있다. 즉 수송수단을 보유하고 있는 상황에서 수송자산의 미사용이나 잘못된 사용으로 인해 필요한 수송소요를 적시적절하게 충족시키지 못하는 것은 군의 장비 나아가 국가의 재산을 효율적으로 활용하지 못하는 것이며 예산낭비를 초래하는 것이나 마찬가지이다. 그러므로 수송수단운용에 있어서 최단시간 내에 최소가용수단을 이용하여 수송소요를 충족시키는 데 있어서 차량경로문제(Vehicle Routing Problem : VRP)를 통한 접근은 매우 유용하며 지금까지 이 분야에 대한 다양한 연구가 이루어져왔다.

최초 1959년 Danzig와 Ramser[13]가 차량경로의 표준문제를 다루기 시작한 이후로 다양한 형태의 변형된 VRP가 연구되었으며 본 논문에서 제기하고자 하는 형태의 VRP는 변형된 형태의 차량경로문제 중 PDP(Pick up Delivery Problem) 및 VRPB(Vehicle Routing Problem with Backhauls)

와 유사한 유형의 연구이다. 그러나 군에서 적용하기 위한 제약들이 추가되었으며 일반적인 사회물류수송체계에도 적용 가능하도록 구성되어 있다.

본 논문에서는 군에서, 특히 예하부대에 대한 보급품의 수송을 담당하는 육군의 사단급 보수대대의 각종 보급품 수송시 귀로수송(출발지에서 목적지까지의 수송업무를 마치고 목적지방향에서 인원과 화물을 싣고 출발지방향으로 복귀하는 수송[5])을 포함하는 경우에 있어서의 차량경로문제를 연구함으로써 수송자산의 효율적 활용측면에서의 목적을 만족시키고자 한다. 앞에 언급된 야전교범 “수송운용”에서도 수송지원시 고려사항에 있어서 귀로수송의 최대한 활용을 강조하고 있다.

또한 최근 사회의 현실적인 물류시스템은 환경문제의 중요성이 대두됨에 따라 재활용 목적의 재생 가능한 제품이나 공병, 포장재 등에 대한 수거가 필요한 경우가 점차 많아지고 있기 때문에 고객들에 대한 제품배달과 수거를 함께 수행할 수 있는 시스템으로의 개선이 필요하며 이를 통해 실질적인 비용절감을 꾀할 수 있다.

이러한 개념으로 접근한 본 연구는 전통적인 차량경로문제를 발전시킨 문제로써 귀로수송소요를 고려한 Dead-Line이 있는 차량경로문제에 대한 수리모형을 제시한다. 또한 귀로수송개념을 도입한 수리모형에 추가하여 차량의 운행시간 제약범위 내에서 보급창고에 대한 다회 방문이 허용되도록 제약조건을 완화함으로써 추가적인 경로 개선과 함께 다회수송을 통한 배차차량수의 단축으로 추가임무 투입가능차량확보와 군에서의 단거리 국지수송(편도 운행거리가 통상 32km이내의 수송. 전시 4회, 평시 2회 반복수송가능하도록 계획수립[7])개념에의

적용도 가능토록 하였으며 제안된 모형 그대로 입력값만 다르게 입력하면, 사회 물류시스템에서도 적용할 수 있다.

2. 관련연구

귀로화물이 있는 차량경로문제는 배달 및 수거를 원하는 수요지를 동시에 고려하는 표준 차량경로문제의 변형이다. 배달수요지들은 단일보급창고로부터 어떤 양의 물품을 받기를 원하는 수요지들이고 수거수요지들은 같은 차량을 이용, 보급창고로부터 어떤 양의 물품을 보내기를 원하는 수요지들이다.

김형석[1](1994)은 VRPB문제로서 Time Deadline이 없다는 점을 제외하고는 본 논문의 개념과 유사한 유형의 문제이지만 수거량을 전량 수거하는 경로로 판단하지 않고 운행거리를 단계적으로 증가시키며 회수물량을 도표로 제시함으로써 경로 선정에 관해 의사결정권자에게 의사결정 정보를 제공하고자 하는데 목적을 두고 있으며 또 한 가지 결정적인 차이점은 이미 차량이 어떠한 지역에 할당된 후의 차량경로결정 문제로 현대의 차량에 대한 TSP(Travelling Salesman Problem)의 변형에 관한 문제라고 볼 수 있다. 또한 수리모형에 관한 검증도 이루어지지 않았다.

김내현 등[18](1997)의 논문 역시 VRPB문제이면서 본 논문의 개념과 같은 방식으로 접근했으나 김형석의 논문과 마찬가지로 차량의 지역할당이후의 경로에 관한 문제이며 배달량과 수거량이 모두 차량용량과 같다는 가정을 둬으로써 - 경로상의 배달량이나 수거량이 차량용량을 초과하게 되면 실행

가능해가 존재하지 않고, 차량용량보다 적을 경우에는 차량용량보다 미달하는 양만큼의 수요가 창고에 존재하는 것으로 놓게 되면 결국 배달량과 수거량이 차량용량과 같게 됨 - 최초 적재량이 차량용량과 같아져 최초 경유하는 지점이 수거량이 배달량보다 적은 지점으로 한정되어버리는 결과를 낳음으로써 경로개선의 가능성을 축소시킬 뿐 아니라 차량의 용량이 정해져 있는 상태의 경로문제가 아닌 경로상 차량의 적재량에 따라 차량용량이 정해지는 비현실성을 내포하고 있다.

남진태[2](1999)는 발견적 기법을 이용하여 귀로화물이 있는 차량경로문제를 다루었으며 배달지점과 수거지점을 구분하여 배달지점이 수거지점보다 선행한다는 제약조건을 만족하는 조건하에서 2-optimal, 노드교환, 노드삽입 등의 국지탐색 알고리즘과 GLS(Guided Local Search)를 이용하여 근사해를 구하였다.

Gribkovskaia et al.[16](2002)은 귀로화물이 있는 차량경로문제의 경로개선을 위해 동일한 차량이 특정수요지들을 2번(처음 방문시 배달량처리, 2번째 방문시 수거량처리) 방문가능하도록 조건을 완화함으로써 경로개선을 꾀하고자 하였다. 그러나 차량 1대에 대한 실험시의 조건 완화한 목적함수값은 본 연구의 두 번째 수리모형인 보급소중간경유를 허용하는 경우의 목적함수값보다 좋지 않게 나왔으며 여러 대의 차량에 대한 실험의 예에서도 본 연구의 결과값이 더 좋게 나왔다.

수요지에서 배달과 수거가 발생하는 형태인 PDP형태의 문제와 귀로화물이 존재하는 VRPB가

본 논문의 연구와 가장 유사한 기존 차량경로문제의 유형이라고 볼 수 있다. 그러나 명백한 차이점이 존재한다. PDP문제는 배달 및 수거지점이 별개이나 본 모형은 동일수요부대에 동시에 위치하고 PDP문제는 특정수요지에서 다른 수요지로의 물품의 이동을 다루지만 본 모형은 수요부대간 물품의 이동은 없으며 수거물량은 전량 보급소로 가져온다. VRPB문제 또한 배달 및 수거지점이 별개이나 본 모형은 동일수요부대에 동시에 위치하고 VRPB문제는 배달지점선행조건이 만족되어야 하나 본 모형은 차량여유공간 범위내에서는 어느 지점이든 빠른 경로 채택 가능하므로 동일한 조건하에서의 경로개선 가능성이 증대된다.

이러한 차이점으로 인해 PDP, VRPB와 귀로수송소요를 고려한 차량경로문제는 다른 수리모형형태를 띄게 되는 것이다. 본 논문에서 다루고자 하는 문제는 한 수요지에 배달 및 수거물량이 동시에 존재하는 경우로써 일반적인 차량경로문제에 비해 연구가 그다지 많이 이루어지지 않았으며 기존에 연구된 문헌들은 대부분 최적화를 위한 수리모형에 대해 수리모형식으로만 제시하고 NP Hard라는 이유로 정확한 검증은 없이 발견적 기법에만 치중하는 양상을 보이고 있다. 기존 연구에서 제시된 수리모형식들은 단순히 1대의 차량경로에 대한 배달 및 수거가 동시에 존재하는 TSP의 변형된 식이거나 여러 대의 차량경로에 관한 VRP라고 하더라도 제시된 식에 대한 구체적인 실례를 통한 검증은 이루어지지 않은 상태에서 다른 기법으로의 해법을 다루고 있는 것이 대부분이다. 귀로화물이 있는 차량경로 수리모형의 구현에 있어서의 매우 중요한 부분이 배달과 수거가 동시에 이루어지는 상황에서

어떻게 차량용량제약을 실시간에 만족시키면서 경로를 구성하도록 제약조건을 부여하느냐 하는 것인데 수리모형에서 이 부분을 구동되도록 묘사하는 것의 어려움 때문이 아닌가 판단된다.

본 연구에서의 모든 실험은 제안된 수리모형들을 ILOG사의 OPL STUDIO 3.5.1을 이용하여 구동하여 도출된 값들이다.

3. 귀로수송소요를 고려한 차량 경로문제 모형

3.1 개념

차량경로문제는 물품운송을 위한 일반차량의 경로 결정문제로 지난 30여년간 많은 학자들에 의해 활발한 연구가 수행되어 왔다. 그러나 한 노드에서 수요와 공급이 함께 존재하는 상황 하에서는 문제의 정의를 새롭게 하여야 한다. 즉 하나의 창고에서 출발하여 예하부대의 수요와 공급이 동시에 발생하는 경우 수거와 배달 모두를 만족하기 위하여 일정수준의 적재용량을 갖는 차량의 최적 경로를 결정하고자 하는 것이다. 수거와 배달의 품목은 다르지만 평가기준(부피 또는 중량 등등)은 같다고 가정하고 모든 물품이 할당되면서 차량의 총 주행 거리를 최소화하게 하는 방법으로 물량이 차량에 할당되는 것을 목적으로 한다.

또한 기존연구고찰에서 알아보았듯이 수거량과 배달량이 동시에 한 지점에 존재하기 때문에, 수거지점과 배달지점이 구분되어 있어서 배달지점이 수거지점보다 선행해야 하는 조건은 필요치 않으며 수리모형의 구현에 있어서의 매우 중요한 부분이 배달과 수거가 동시에 이루어지는 상황에서 어떻게

차량용량제약을 실시간에 만족시키면서 경로를 구성하도록 제약조건을 부여하느냐 하는 것이다.

3.2 가정사항

키로수송소요를 고려한 VRP는 아래와 같은 가정을 설정한다.

- (1) 운행되는 차량의 비용은 총 운행 거리에 비례한다.
- (2) 각 차량은 최대적재용량까지 적재가 가능하며 적재용량은 차량별로 동일하게 주어진다.
- (3) 이동간 차량의 운행속도는 동일하다.(적재된 화물량에 영향을 받지 않는다)
- (4) 화물의 적재 및 하역에 소요되는 시간은 화물량에 관계없이 동일하다.
- (5) 차량의 출발 및 종착은 보급창고에서만 이루어지며 단일 보급창고만이 존재한다.
- (6) 각 피지원 부대에서의 적재 및 하화량은 확정적이며 사전에 알려져 있다.
- (7) 각 경로는 각각 1대의 차량에 의해서만 서비스된다.
- (8) 수거와 배달을 위한 품목들은 서로 다르지만 차량의 용량을 표현하는 기준(중량, 부피 등)은 동일하다.
- (9) 경로상의 임의의 피지원 부대에서 수거된 물량은 다른 피지원부대의 수요를 충족할 수 없다. 즉, 처음에 적재된 물품만이 모든 피지원부대의 수요를 충족시킨다.

3.3 모형

변수를 다음과 같이 정의한다.

N : 수요부대의 수 $N = \{1, 2, \dots, n\}$

※ $N = 0$: 창고

i, j, k : 피지원부대

D_i : 피지원부대의 수요량

P_i : 피지원부대의 키로물량

C : 차량의 용량

T : 차량의 수

S : 수요 부대의 부분집합

A : 수요 부대의 전체집합

ST : 창고의 일과시작시간

FT : 창고의 일과종료시간

WH : 창고의 하루근무시간

※ $WH = FT - ST$

LT : 적재시간

LFT : 하화시간

SPD : 차량속도

X_{ijt} : 차량 t 가 피지원부대 i 에서 j 까지 운행

하면 1, 그렇지 않으면 0

d_{ij} : i, j 간의 거리

RE_{ijt} : 차량 t 가 피지원부대 i 에서 j 로 이동하여 적하화작업을 끝낸 후 출발할 때의 공차량 (여유적재공간)

수리모형을 구성하면 아래와 같다.

$$\text{Minimize } \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{t=1}^T X_{ijt} \times d_{ij} \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_{ijt} \leq |S| - 1,$$

$$\forall t, t = 1, \dots, T, S \subset A, |S| \neq 0 \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{t=1}^T X_{ijt} = 1 \quad \forall j, j = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^N X_{ijt} = \sum_{k=0}^N X_{ikt} ,$$

$$\forall j, t \quad j = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{0jt} \leq 1 \quad \forall t, \quad t = 1, \dots, T \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^N X_{iit} = 0 \quad \forall t, \quad t = 1, \dots, T \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{0jt} = \sum_{i=1}^N X_{oit} \quad \forall t, \quad t = 1, \dots, T \quad (7)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N X_{ijt} \leq \sum_{k=1}^N X_{okt} \times (N \times 2)$$

$$\forall t, \quad t = 1, \dots, T \quad (8)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N X_{ijt} \times D_j \leq C \quad \forall t, \quad t = 1, \dots, T \quad (9)$$

$$(X_{ijt} \times 2 \times C) \geq RE_{ijt} ,$$

$$(X_{jit} \times 2 \times C) \geq RE_{jit} ,$$

$$\forall i, j, t, \quad i = 0, \dots, N, \quad j = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (10)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N X_{ijt} \times D_j = C - RE_{00t} ,$$

$$\forall t \quad t = 1, \dots, T \quad (11)$$

$$RE_{00t} + \sum_{j=1}^N X_{0jt} \times \{D_j - P_j\}$$

$$= \sum_{j=1}^N RE_{0jt} + \{1 - \sum_{j=1}^N X_{0jt}\} \times C ,$$

$$\forall t \quad t = 1, \dots, T \quad (12)$$

$$\sum_{i=0}^N RE_{ijt} + \sum_{k=0}^N X_{jkt} \times \{D_k - P_k\}$$

$$= \sum_{k=0}^N RE_{jkt}$$

$$\forall j, t \quad j = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (13)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \times X_{ijt} / SPD$$

$$+ \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N X_{ijt} \times (LT + LFT) \leq WH$$

$$\forall t \quad t = 1, \dots, T \quad (14)$$

(1)은 본 수리모형의 목적함수로써 수요부대의 수요량을 충족시키는데 필요한 모든 차량의 총 운행거리를 최소화하는 것이다. (2)는 부분 경로(sub-tour)방지를 위한 조건으로 이 제약조건식은 $2N-1$ 개의 식으로 구성이 된다. (3)은 한 수요부대에 한대의 차량만 도착한다는 제약이며 (4)는 차량이 임의의 수요부대에 도착하여 화물의 적재 및 하화를 마친 후에 반드시 다른 수요지점이나 단일창고로 출발해야 한다는 차량흐름의 연속성을 나타내는 제약이다. (5)는 한 차량은 여러번 운행할 수 없다는 제약이며 (6)는 한 지점에서 도는 경우는 없다는 제약이고 (7)은 창고에서 나간 차량은 반드시 창고로 돌아와야 한다는 것이며 (8)은 운행되는 차량은 반드시 창고에서 출발해야 한다는 제약이다. (9)는 모든 차량은 각 차량의 경로에 포함된 수요부대의 총 수요량이 차량의 적재용량을 초과할 수 없다는 제약이고 (10)는 차량의 공차량은 이동이 있을 때에만 값이 존재한다는 제약이며 (11)은 최초 창고에서 출발시의 공차량을, (12)는 다음 도착지의 공차량, (13)은 모든 경우의 공차량을 나타내 주는 제약이다. 마지막으로 (14)는 일과시간내에 모든 차량이 복귀해야 한다는 제약을 나타낸다.

3.4 모형의 검증

3.4.1 귀로화물이 없는 표준형예제 적용

12개의 수요지점과 적재용량이 6000인 차량 4대에 대한 문제를 다룬 기존예제[4]를 적용하여 최적해 산출여부를 확인한다. <표 1>은 기존예제에서의 수요지점 위치 및 수요량이다.

<표 1> 수요지점의 위치 및 수요량

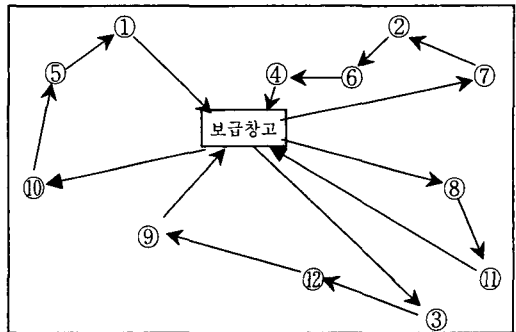
수요지점	위치	수요량	수요지점	위치	수요량
1	(29, 63)	1,800	7	(87, 53)	1,200
2	(72, 66)	1,700	8	(84, 26)	2,600
3	(82, 4)	1,500	9	(23, 19)	2,300
4	(55, 52)	1,400	10	(6, 28)	1,900
5	(18, 71)	2,200	11	(94, 13)	3,000
6	(64, 55)	1,400	12	(64, 9)	1,800

※보급창고 위치: (50,40)

실험은 제안된 수리모형을 ILOG사의 OPL STUDIO 3.5.1을 이용하여 구동하였으며 표준형으로의 적용을 위해 귀로화물량을 모두 0으로 놓고 차량속도를 높여줌으로써 시간제약을 없애주었다. 또한 좌표형식으로 주어진 위치들을 C++프로그램을 이용, 수요지점간 거리형식으로 전환하여 입력하였다.

<표 2> 최적해

구분	차량경로	목적함수 (운행거리)
기존논문 [7]	0-3-12-9-0	476.765
	0-10-5-1-0	
	0-7-2-6-4-0	
	0-8-11-0	
본 연구	위와 동일함	479.247



<그림 1> 최적경로

각각의 차량에 대한 운행경로 및 총 운행거리가 <표 2>와 <그림 1>에 주어져 있다. 운행거리의 오차는 좌표를 수요지점 거리로 변환하면서 생긴 오차이므로 목적함수는 같은 값으로 볼 수 있다. 즉 귀로화물이 없는 표준형 VRP문제에서 수리모형이 이상없이 구현되는 것을 확인할 수 있다.

3.4.2 귀로화물이 있는 예제 적용

귀로화물이 있는 기존연구의 예제[16]를 적용하여 제안된 수리모형을 검증한다. 예제는 13개의 수요지를 갖는 단일보급창고에서의 차량 1대의 최적 운행경로에 대한 것이다. <표 3>과 <표 4>는 보급창고와 수요지점 거리 및 배달/회수량이다.

<표 3> 보급창고와 수요지점 거리

구분	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	55	75	115	170	148	145	159	98	101	95	50	58	20
1	55	0	43	115	165	155	170	198	142	138	115	75	105	75
2	75	43	0	80	125	120	142	181	135	123	91	64	106	95
3	115	115	80	0	56	41	72	124	102	80	40	66	100	124
4	170	165	125	56	0	41	85	145	145	120	88	121	151	178
5	148	155	120	41	41	0	45	105	105	80	55	96	120	153
6	145	170	142	72	85	45	0	60	75	53	53	98	103	145
7	159	198	181	124	145	105	60	0	63	60	91	123	104	150
8	98	142	135	102	145	105	75	63	0	25	60	72	40	88
9	101	138	123	80	120	80	53	60	25	0	40	65	50	95
10	95	115	91	40	88	55	53	91	60	40	0	45	64	98
11	50	75	64	66	121	96	98	123	72	65	45	0	46	58
12	58	105	106	100	151	120	103	104	40	50	64	46	0	47
13	20	75	95	124	178	153	145	150	88	95	98	58	47	0

구분	0	1	2	3	4	5	6	계
배달	0	20	25	15	40	20	10	X
회수	0	30	30	15	30	15	15	
구분	7	8	9	10	11	12	13	
배달	30	30	25	20	15	20	20	290
회수	20	35	10	15	15	30	35	295

<표 4> 배달/회수량

기존연구의 예제와 같은 조건으로 적용하기 위해 실험은 차량용량이 무제한일 경우와 차량용량을 300으로 제한했을 경우의 2가지로 실시하였다. 첫 번째 실험과 마찬가지로 같은 조건을 구성하기 위해 차량속도를 높여줌으로써 시간제약을 없애주었다.

실험결과는 아래 <표 5>와 같으며 목적함수값은 기존연구와 동일한 값을 보였다.

<표 5> 실험결과

구분	차량 경로	목적 함수
차량 용량 무제한	0-1-2-11-10-3-4-5 -6-7-9-8-12-13-0	641
차량 용량 300	0-12-9-8-7-6-5-4 -3-10-11-2-1-13-0	685

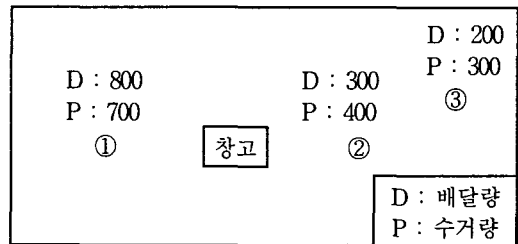
지금까지 표준형 차량경로문제와 귀로화물이 있는 차량경로문제의 기존연구와의 목적함수 비교를 통해 제안된 수리모형의 타당성을 검증하였다.

4. 보급창고 중간경유 허용을 통한 경로 개선

귀로수송소요를 고려하는 차량 경로에 있어서 보급창고의 중간경유를 허용하는 방법은 일반적인

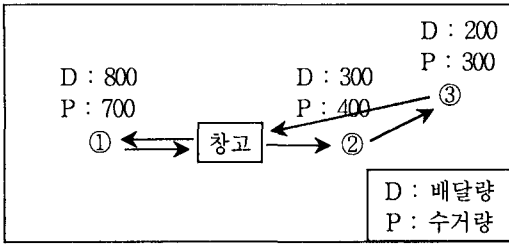
수요량만 있는 차량경로문제에서의 그것보다 더 유용한 방법이 될 수 있다. 배달 및 수거물량의 차량 동시적재로 인한 차량용량의 제약을 보급창고의 중간경유를 통해 부분적으로 해소시킬 수 있기 때문이다. 또한 시간제약조건을 만족하는 범위 내에서 차량의 다회운행을 허용하는 것과 같은 개념이므로 운용에 필요한 차량대수를 최소화함으로써 운행에 비자원을 확보할 수 있는 효과도 가져온다.

보급창고중간경유허용의 개념을 설명하면 다음과 같다.

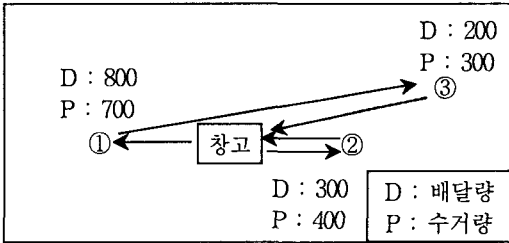


<그림 2> 보급창고 중간경유허용 개념

위의 <그림 2>과 같이 단일창고와 3개의 수요지에서의 배달량과 수거량이 존재하는 상황에서 1000의 적재용량을 가진 차량 1대의 경로는 ①번수요지나 ②번수요지를 먼저 운행하여 보급창고로 복귀한 후 나머지 2개 수요지를 운행하는 경로만이 가능하고 보급창고의 중간경유가 없는 경로는 생성이 불가능하다. 즉, 차량 1대의 용량 1000으로는 수요지 3군데의 배달량의 합 1300 모두를 싣고 출발하는 것이 불가능하기 때문에 일반적인 TSP로는 가능해가 생성되지 않고 창고-①-창고-②-③-창고(<그림 3>) 또는 창고-②-창고-①-③-창고(<그림 4>) 과 같은 보급창고의 중간경유가 존재하는 해만이 가능하다.



<그림 3> 실행가능해(1)



<그림 4> 실행가능해(2)

보급창고의 중간경유를 허용하는 수리모형의 구성은 최초 제안한 수리모형의 변형을 통해 접근한다.

최초 제안된 수리모형에 두가지의 변수, 총 차량대수 V 와 운행가능횟수 n 을 추가적으로 정의하고 $T = V \times n$ 이라고 놓는다.

최초 제안된 수리모형에서의 총 차량대수는 T 로 정의했으나 변형된 수리모형에서는 총 차량대수 \times 운행가능횟수를 T 로 정의함으로써 예를 들어 실제 차량이 2대인데 3회 운행가능하다고 가정하면 총 6대의 차량이 운행되는 것처럼 묘사되지만 ①②③④⑤⑥번 차량들을 ①③⑤번을 한대의 차량으로, ②④⑥번을 한대의 차량으로 간주하여 묶여진 3대의 차량들의 총 운행시간(운행시간+적화시간)의 합이 주어진 보급창고의 일과시간을 넘을 수 없도록 제약함으로써 보급창고 중간경유를 허용하는 모형으로의 변환을 가져온다.

이러한 변환에 대한 개념은 <표 6>과 같다.

<표 6> 보급창고 중간경유 허용 모형의 개념

	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$...	$t = V$	
1회 운행시	1번째 차량 O	2번째 차량 O	3번째 차량 O	...	V 번째 차량 O	$= V$
2회 운행시	$(1+V)$ 번째 차량 O	$(2+V)$ 번째 차량 O	$(3+V)$ 번째 차량 O	...	$(V+V)$ 번째 차량 O	$= 2V$
3회 운행시	$(1+2V)$ 번째 차량 O	$(2+2V)$ 번째 차량 O	$(3+2V)$ 번째 차량 O	...	$(V+2V)$ 번째 차량 O	$= 3V$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
n 회 운행시	$(1+(n-1)V)$ 번째 차량 O	$(2+(n-1)V)$ 번째 차량 O	$(3+(n-1)V)$ 번째 차량 O	...	$(V+(n-1)V)$ 번째 차량 O	$= nV$

결국 첫번째 차량($t = 1$)이 3회 운행가능시 (참고 2번 중간경유허용을 뜻함) 1번째, $(1+V)$ 번째, $(1+2V)$ 번째 차량의 운행여부와 경로를 파악한 후 나누어진 3가지 차량이 모두 운행했으면 3회 운행한 것이고 그 중 2가지 차량이 운행했으면 2회, 1가지만 운행했다면 중간에 보급창고로의 경유없이 1회만 운행한 것이 된다.

여기에서 매우 중요한 제약은 운행시간에 관한 제약이다. 목적함수를 최적화하는 각 차량별 운행횟수가 존재하더라도 각각의 차량별 운행횟수를 도는 데 걸리는 시간이 일과시간보다 초과한다면 여러번의 운행은 무의미하게 되므로 차량별 운행횟수에 모두 소요되는 시간이 일과시간보다 적다는 제약이 기존 제약식에 추가되어야 한다. 즉, 기존 제약식 (14)에 추가적인 제약조건을 더한 변형이 필요하다.

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \times X_{ijt} / SPD + \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N X_{ijt} \times (LT + LFT) \leq WH \quad \forall t \quad t = 1, \dots, T \quad (14)$$

n 을 운행가능횟수라 놓고 (식 4-14)제약식을 변형하면,

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \times X_{ijt} / SPD + \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N X_{ijt} \times (LT + LFT) \quad (1)$$

$$+ \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \times X_{ij(t+V)} / SPD + \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N X_{ij(t+V)} \times (LT + LFT) \quad (2)$$

$$+ \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \times X_{ij(t+2V)} / SPD + \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N X_{ij(t+2V)} \times (LT + LFT) \quad (3)$$

$$+ \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \times X_{ij(t+(n-1)V)} / SPD + \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N X_{ij(t+(n-1)V)} \times (LT + LFT) \quad (n)$$

$$\leq WH \quad \forall t, t = 1, \dots, V \quad (15)$$

※ WH : 창고의 하루 근무시간

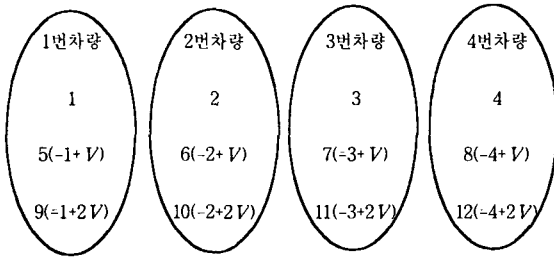
- ①: 1회째 운행시의 차량별 주행 / 적하화 소요시간
- ②: 2회째 운행시의 차량별 주행 / 적하화 소요시간
- ③: 3회째 운행시의 차량별 주행 / 적하화 소요시간
-
- ①: n 회째 운행시의 차량별 주행 / 적하화 소요시간

즉, 허용하고자 하는 운행횟수만큼 제약식을 추가하면,

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \dots + \textcircled{n} \leq WH$$

예를 들어 설명하면 다음과 같다.

총 차량대수가 $V = 4$ 이고 운행가능횟수 $n = 3$ (참고경유가 2회)이라고 가정하면, 최초 수리모형에서의 $t = 1, 2, 3, 4$ 이고 변형시킨 모형에서는 $t = 1, 2, 3, \dots, 12$ 이다. 물론 여기서 t 가 12까지라고 해서 차량이 12대라는 의미는 아니고 4대의 차량이 최대 3번 운행이 가능하므로 $4 \times 3 = 12$ 대가 되는 것이다.



<그림 5> 보급창고 중간경유 허용의 예

$t = 1, 5, 9$ 의 운행경로가 1번 차량의 총 운행경로
 $t = 2, 6, 10$ 의 운행경로가 2번 차량의 총 운행경로
 $t = 3, 7, 11$ 의 운행경로가 3번 차량의 총 운행경로
 $t = 4, 8, 12$ 의 운행경로가 4번 차량의 총 운행경로

그리고 이 때의 수리모형은 최초 제안된 수리모형에 두 가지의 변수(V : 총 차량대수, n : 운행가능횟수)를 추가적으로 정의하고 $T = V \times n$ 이라고 놓고, 일과 시간 내 운행제약을 (식 15)과 같이 추가시킨다.

즉, $n = 3$ 이므로 $①+②+③ \leq WH$

$\forall t, t = 1, \dots, V$

보급창고 중간경유 허용을 통한 차량경로개선 의 예로 김형석[1]과 Gribkovskaia et al.[16]의 연구의 예제를 사용한다.

먼저, 김형석 논문의 예제 데이터가 <표 7>과 <표 8>에 주어져 있다.

<표 7> 보급창고와 수요지간 거리

구분	0	1	2	3	4	5
0	0	2	1	3	5	4
1	2	0	4	7	6	8
2	1	4	0	6	4	8
3	3	7	6	0	5	7
4	5	6	4	5	0	9
5	4	8	8	7	9	0

<표 8> 배달/회수량

구분	0	1	2	3	4	5	계
Delivery	0	5	7	10	8	10	40
Pick-up	0	7	4	6	9	11	37

실험결과를 정리 비교하면 아래와 같다.

<표 9> 실험 결과

구분	차량 경로	목적 함수 (운행거리)	
김형석 논문[1]	0 → 2 → 3 → 4 → 1 → 5 → 0	30	
본 연구	보급소중간 경유 미허용시	0 → 2 → 1 → 4 → 3 → 5 → 0	27
	보급소중간 경유 허용시	0 → 5 → 0 0 → 1 → 0 0 → 2 → 4 → 3 → 0	25

<표 9>에서 보듯이 보급소 중간경유를 허용함으로써 운행거리가 27에서 25로 단축되었음을 확인할 수 있다.

다음은 Gribkovskaia et al.[16]의 연구의 예제이다. 예제 데이터는 앞의 <표 3>, <표 4>와 같다.

실험결과를 정리 비교하면 다음 <표 10>과 같다.

<표 10> 실험결과

구분	차량 경로	목적 함수
Gribkovskaia et al.[16]	전형적 차량경로 모형 0-12-9-8-7-6-5-4 -3-10-11-2-1-13-0	685
	수요지 2회이상 방문허용 0-13-1-2-11-10-3 -4-5-6-7-9-8-12-13-0	681
본 연구 (보급창고 중간경유허용)	0-13-0-12-8-9-7-6-5 -4-3-10-11-2-1-0	672

표준차량경로모형에서의 목적함수값이 685로 나왔으며 기존연구에서의 수요지를 2회 이상 방문 허용하는 모형에서의 값은 681이라는 보다 개선된 값이 도출되었다. 즉, “13”이라는 수요지를 최초방문하여 배달량을 배달해주고 다른 수요지를 모두 경유한 후 마지막으로 “13”수요지에 다시 한번 경유하여 수거량을 수거해 오는 방식으로 조건을 완화하여 개선된 목적함수값을 도출하였으며 본 연구에서는 “13”이라는 수요지에서 배달과 수거를 모두 실시한 후 다시 보급창고로 복귀하여 나머지 수요지를 돌아오는 경로를 선택한 결과 672라는 보다 개선된 목적함수값을 얻을 수 있었다.

지금까지 살펴본 바와 같이 시간제약 범위 내에서 보급창고의 중간경유를 허용하는 것이 이동거리를 더욱 단축시킬 수 있는 효과적인 방법이 될 수 있으며 중간경유를 허용하지 않는 경우보다 제약조건이 완화되는 것이므로 적어도 더 나쁜 값이 나올 수는 없기 때문에 경로판단에 있어서 보급창고 중간경유의 허용은 더욱 개선된 해를 찾을 수 있는 유용한 대안이 될 수 있다.

다음 절에서는 사단 보수대대의 예제를 통해 모형의 실질적인 적용사례를 알아보겠다.

5. 사단 보수대대 적용사례

지금까지 살펴 본 두 가지 수리모형에 대한 실질적인 육군의 사단 보수대대 적용사례에 대해 알아본다. 사단 보수대대의 경우 사단 예하부대에 대한 보급품의 보급수송을 담당하며 특히 현실적으로 폐품, 반납품목 등의 귀로화물이 존재하기 때문에 본 연구에서의 수리모형의 적용에 있어서 적합한 예라고 할 수 있다.

적용에 있어서의 가정사항은 제안된 수리모형과 동일하며 현실적인 적용을 위해 보급창고에서의 출발시간과 복귀시간제약, 적·하화시간, 차량용량 등을 육군의 수송운용개념에 맞추어 적용하였다.

<표 11> 사단 예하부대 수요지 위치 및 수요량

순번	수요지점	위 치	배달량	수거량
①	××연대	(95, 75)	1,300	1,000
②	△△연대	(45, 20)	0	600
③	☆☆연대	(47,100)	900	800
④	포병연대 (○○포병대대 포함)	(40, 70)	700	800
⑤	×× 포병대대	(114,90)	1,200	130
⑥	△△ 포병대대	(72, 20)	1,000	500
⑦	☆☆ 포병대대	(132, 60)	500	1,600
⑧	공병대대	(81,90)	1,000	1,000
⑨	통신대대	(10,70)	1,300	800
⑩	정비대대	(18,40)	1,100	300
⑪	수색대대	(110,53)	1,400	850
⑫	기타직할대	(68,60)	1,300	700
⑬		(96,48)	1,100	1,300

※ 보수대대는 사단 사령부 내 위치(60,60)

프로그램에 자료입력을 위해 <그림 6>과 같이 수요지간 거리 형식으로 전환하였다.

<그림 6> 수요지간 거리

보급창고에서의 출발시간과 복귀시간은 오전 6시부터 오후 8시까지로 적용하였으며¹⁾ 적하화시간은 2 1/2톤 표준차량기준 적재 60분, 하화 30분으로 적용하였다.²⁾ 차량용량은 군 표준차량인 2 1/2톤 카고차량을 기준으로 일반화물적재량인 4000kg을 적용하였다.³⁾

먼저 보급창고 중간경유를 허용하지 않는 최초 제안한 수리모형에 의한 구동결과의 최적해에 대한 차량경로와 목적함수값이 <표 12>에 주어졌다.

<표 12> 최적해 차량경로 및 목적함수값

차량	경로	이동거리	총 이동거리
1	0-9-10-2-6-0	184.4	504.433
2	0-12-13-11-0	36.476	
3	0-8-1-5-7-0	188.331	
4	0-3-4-0	95.226	

다음은 보급창고 중간경유를 허용하는 수리모형에 의한 구동 결과이다. 최적해의 차량경로와 목적함수 값이 <표 13>에 주어졌다.

차량	경로	이동거리	총 이동거리
1	0-9-10-2-6-0	184.4	504.433
2	0-12-13-11-0-3-4-0	131.702	
3	0-8-1-5-7-0	188.331	

<표 13> 최적해 차량경로 및 목적함수값

제안된 두 가지 수리모형을 구동시켜 본 결과, 모형들의 목적함수값은 같았고 같은 경로의 구현에 있어서 한대의 차량이 보급창고를 중간경유함으로써 2대의 차량경로를 1대로 축소하여 결과적으로 동일한 임무수행에 있어서 운용차량대수를 줄이는 효과를 낳았다.

이는 앞에서의 「연구배경 및 목적」에서 언급했듯이 “능력의 최대이용”이라는 수송운용의 기본요건을 충족시키는 것이며 동일한 임무수행에 있어서 운용되는 차량수를 단축함으로써 추후 추가임무 투입에 활용할 수 있는 예비 기동장비를 확보하여 우발상황에 효과적으로 대처할 수 있는 것이다.

5. 결 론

지금까지의 차량경로문제는 주로 보급소로부터 수요지로의 물량의 전달에 초점을 두고 발전해 왔다고 볼 수 있다. 그러나 환경문제와 에너지낭비에 대한 국제적, 국가적인 관심이 증대되면서 물품의 배달 뿐 아니라 폐기물의 수거나 자원의 재활용을 위한 재활용품의 수거 또한 기업의 사회적 책임으로 인식되고 있으며 군에서의 보급품 수송업무에

- 1) 모든 차량은 공무로 일과시간 내에 사용함을 원칙으로 한다. 평일 : 06:00~20:00 [9]
- 2) 차량 도착후 적재작업 90분, 하화작업 60분 이내에 완료해야 한다 [9] : 이 시간은 적·하화를 완료하는 최대소요시간이므로 일반적인 실무부대의 적·하화시간을 고려하여 적재 60분, 하화 30분으로 적용함.
- 3) 2 1/2톤 트럭의 양호한 도로 평균 적재량은 4톤임.[7]

있어서도 보급품의 보급과 동시에 폐품과 재활용자원의 반납이 부분적으로 이루어지고 있고 환경과 에너지재활용을 중시하는 앞으로의 시대적 추세를 감안하면 보다 활성화되어야 할 것으로 판단된다.

이러한 측면에서, 본 연구가 일반적인 수거화물이 있는 기존의 전형적인 VRPB나 PDP문제와는 다른 성격을 가지는 귀로수송소요를 고려한 차량경로문제에 대한 수리모형의 실질적인 구축과 검증을 통해 군에서의 현실적인 제약조건을 반영한 차량경로문제의 적용을 가능토록 하였으며 특히 사단 보수대대의 전시수송계획수립에 적절한 최적해를 찾아내는 데 효율적인 모형을 구축했다는 데 그 의의가 있다.

또한 보급창고의 중간경유를 허용하는 방법을 이용하여 동일한 임무수행에 있어서의 운용차량수를 축소시킴으로써 “능력의 최대이용”이라는 수송운용의 기본요건을 충족시키고 추후 추가임무투입에 활용할 수 있는 예비 기동장비를 확보하여 우발상황에 효과적으로 대처할 수 있다.

향후 발전방향으로는 이러한 귀로수송소요를 고려한 차량경로선정을 실무에 적용할 수 있도록 야전부대에 널리 보급된 엑셀프로그램 등을 활용하여 프로그램화한다면 업무효율성증진과 제한된 기동장비의 최적활용에 기여할 수 있을 것이다.

또한, 평시 시각을 다루는 긴급수송계획수립이나 대규모의 차량경로선정에 활용할 수 있도록 최적화기법의 단점인 시간상 제약을 보완하는 발전적 기법이 개발된다면 계획수립 및 차량운용판단에 있어서 전시수송계획은 최적화기법을 이용하여 최적해를 찾아내어 계획에 반영하고, 평시차량운용판단 및 전시 상황변화에 따른 긴급수송간 차량운용은

발전적 기법을 이용하여 신속히 최적해에 근접한 최선의 해를 찾아 업무에 적절히 활용함으로써 전평시 수송계획수립에 있어서 상호보완적인 역할을 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김형석, “배달과 회수를 동시에 고려한 차량 경로문제”, 아주대학교 석사학위 논문, 1994
- [2] 남진태, “귀로화물이 있는 차량경로문제의 발전적 해법”, 한양대학교 석사학위 논문, 1999
- [3] 송성헌, “차량경로 비용을 고려한 단일 분배 센터 입지 선정문제”, 서울대학교 박사학위 논문, 1987
- [4] 윤현식, “유전자 알고리즘과 타부서치를 이용한 차량경로문제에 관한 연구”, 국방대학교 석사학위논문, 2002
- [5] 교육참고 101-20-1, “군사용어사전”, 육군본부('99.8.30)
- [6] 야전교범 22-10-1, “수송운용/이동관리”, 육군본부('02.5.30)
- [7] 야전교범 22-10-2, “수송운용/이동관리(육로)”, 육군본부('02.5.30)
- [8] 야전교범 43-1, “수송 운용”, 육군본부('04.6.30)
- [9] 육군규정 404, “수송부 운영규정”, 육군본부('04.1.1)
- [10] Bard, J.F., Huang, L., Dror, M. and Jaillet, P., “A Branch and Cut Algorithm for the VRP with Satellite Facilities”, IIE Transactions 30, pp 821-834, 1998.
- [11] Chryssi Malandraki and Robert B. Dial, “A restricted dynamic programming heuristic

- algorithm for the time dependent traveling salesman problem", *European Journal of Operational Research* 90, pp. 45-55, 1996.
- [12] Clarke, G. and J. Wright, "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points", *Operations Research*, Vol. 12, No. 4, pp. 568-581, 1964
- [13] Danzig G. B . and Ramser J. H , "The Truck Dispatching Problem", *Management Science*, Vol. 6(1959), pp. 80-91
- [14] Fagerholt, K., "Optimal fleet design in a ship routing problem", *International Transactions In Operational Research*. 6, pp. 453-464, 1999
- [15] Gillett, B and L. Miller, "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatching Problem", *Operational Research*, Vol. 22, pp. 340-349, 1974.
- [16] Gribkovskaia, I., Halskau, O., Myklebost, Kim., "Models for Pick-Up and Deliveries from Depots with Lasso Solutions", Working Paper, Molde University College, Norway, 2002
- [17] Homberger, J. and Gehring, H., "Two evolutionary metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with time window", *INFOR*, Vol. 37, No. 3, 1998
- [18] KIM, N.H, RIM, S.C., MIN, B.D., "A Heuristic Algorithm for Vehicle Routing Problem with Backhauls", *International Journal of Management Science*, Vol 3, No 1, May 1997
- [19] Robert T. Sumichrast and Ina S. Markham, "A heuristic and lower bound for a multi-depot routing problem", *Pergamon*, 1994
- [20] Salhi, S. and Rand, G. K., "Incorporating vehicle routing into the vehicle fleet composition problem", *European Journal of Operational Research* 66, pp313-330, 1993