

다품종 독립 적재공간을 갖는 배달과 수거를 동시에 고려한 차량경로문제

김각규[†] · 김성우 · 조성진

국방대학교 운영분석학과

A Simultaneous Delivery and Pick-up Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Separate Loading Area

Gak-Gyu Kim · Seong-Woo Kim · Seong-Woo Kim

Department of Operations Research, Korea National Defense University

As a special topic of the vehicle routing problems (VRP), VRPSDP extends the vehicle routing problem as considering simultaneous pickup and delivery for goods. The past studies have mainly dealt with a only weight constraint of a loading capacity for heterogeneous products. However, this study suggests VRPSDP considering separate loading area according to characteristics of loading species. The objective is to design a set of minimum distance routes for the vehicle routing assignment with independent capacity for heterogeneous species. And then we present a another HVRPSDP model which is easy to utilizes in a unique circumstance that is a guarantee of executing a task simultaneously from the various areas under restricted time and raising an application of vehicles that returns at the depot for the next mission like the military group. The optimal results of the suggested mathematical models are solved by the ILOG CPLEX software ver. 12.4 that is provided by IBM company.

Keywords: Heterogeneous Fleet, Vehicle Routing Problem, Simultaneous Pickup and Delivery, Heterogeneous Products

1. 서론

국토해양부의 2009년 「국가 물류비 산정 및 추이 분석」에 따르면 국가 물류비는 약 116조 원으로 국가 물류비의 혁신을 달성하기 위한 개선 대책이 시급한 상황임을 알리고 있다. 이와 더불어 한국 무역협회가 발표한 기업의 물류비 실태조사 보고서에 따르면 국내기업의 기능별 물류비 중 운송비가 약 41.9%(2009년 현재)로 많은 부분을 차지하고 있으며, 최근 국제 자유무역 협정 등으로 인해 외국과의 교역량이 최대치를 경신하는 가운데 늘어나는 물동량을 원활히 소화할 수 있는 운송체계 정립이 절실히 필요한 상태이다. 그러나 증가하는 수송물량과는 다르게 지구 온난화에 따른 환경위기 의식 및

세계적 경제위기가 확산되면서 21세기 최대 화두인 '녹색물류(green logistics)'라는 용어가 등장하고 빠른 변화에 대한 긴급한 대응요청과 성공적인 성과가 요구되고 있다. 이러한 시대적 변화의 흐름 속에서 물류산업의 재해석과 운송산업 패러다임의 전환 또한 시급한 현실적인 문제로 등장하였다. 이에 따라 국가에서는 직접 나서 2020 글로벌 물류강국을 육성하기 위한 대책으로 「국가물류기본계획」마저 수정을 하고 있다. 이 중 전략과제로 1) 육해공 통합물류체계 구축을 통해 물류효율화 구현 2) 시장기능 회복을 통한 물류산업의 경쟁력 제고를 내세우는 등 중장기적 목표를 세워 추진하고 있다. 더불어 녹색성장의 개념이 도입되면서 환경친화적 물류시스템이 시행되어 자재 및 제품이 최종 소비자에게 이르는 단계에서 발생

[†] 연락저자 : 김각규 교수, 122-875 서울시 은평구 수색동 205번지 국방대학교 운영분석학과, Fax : 02-309-8118,
E-mail : keyperson78@naver.com

2012년 12월 19일 접수; 2013년 4월 22일 수정본 접수; 2013년 9월 4일 게재 확정.

하는 포장, 수송, 하역, 보관과 관련된 전통적 물류(forward or traditional logistics) 활동뿐만 아니라 일정기간 사용된 후 최종 소비자로부터 제품 및 자재를 회수하여 각각의 상태에 따라 분류한 후 필요한 2차 가공과정 또는 재분배하는 과정과 관련된 역물류(reverse logistics) 활동의 활성화를 추진하고 있다. 또한 물류의 수송과 회송을 동시에 수행함으로써 수송과 회송이 별도로 이루어지는 개념으로부터 수송수단의 운행 최소화로 환경을 보호할 수 있는 시각의 전향(轉向)까지 바라고 있다. 이는 물류적 관점에서 차량경로문제(vehicle routing problem, VRP) 중 배달과 수거를 동시에 고려하는 연구와 밀접한 연관이 있다고 할 수 있다.

본 연구에서는 기존의 VRP에 대하여 다품종 독립 적재공간이 필요한 항공기 수송에 적용하여 수송거리를 최소화하는 모형을 제시하고, 보급품 수송이 원하는 시간에 목표지역에 도달하되 각 도착시간의 간격이 최소화되어야 하는 군 수송기 문제에 대해 추가하여 수리 모형을 제시하고자한다. 따라서 제 2장에서는 먼저 기존 VRPSDP(vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups) 연구들을 알아보고, 제 3장은 HVRPSDP (heterogeneous VRPSDP)의 거리 최소화를 위한 수리모형과 군의 특수한 상황하 수송종료 시간의 격차를 최소화 하는 모형을 제안한다. 제 4장에서는 각각의 수치실험 및 결과를 도출하고 두 실험의 결과에 대한 비교분석을 실시하며, 제 5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시하도록 한다.

2. 기존 문헌연구

차량경로문제(VRP)는 한 차량이 여러 도시를 방문하는 외판원 문제(Traveling Salesman Problem)의 확장된 문제로써 Danzig and Ramser(1959)에 의해 표준 형태가 제안되었다. 차고지(depot)에서 출발한 차량이 여러 곳에 흩어져 있는 고객들의 요구를 만족시키면서 출발지로 복귀하는데 소요되는 최단 거리를 구하는 문제로써 일반적인 차량경로 문제의 목적함수는 총 운행거리의 최소로 설정되며, 차량용량, 시간제약, 다회방문, 확률적 상황, 차량운행주기 등 제약 조건에 따라 다양한 형태로 폭넓게 연구되고 있다. 이 중 배달과 수거를 한 지점에서 동시에 받을 수 있는 배달과 수거 동시고려하 차량경로 문제(VRPSDP)는 Min(1989)에 의해 처음 소개된 이후 1990년대는 큰 주목을 받지 못하였으나, 2000년 이후 역물류 관점의 물류 시스템의 필요성이 커지면서 활발한 연구가 이루어지고 있다. VRPSDP의 목적은 고객의 요구에 의해 동시에 발생된 배달량과 수거량을 만족하는 최적의 차량경로를 결정하는 것이다. <Table 1>은 VRPSDP의 연구에 대한 기존연구 내용을 연대순으로 요약하였다.

지금까지의 기존 연구들을 보면 모두가 단일 품종(homogeneous product)의 문제이거나 다품종(heterogeneous products)이라 하더라도 제약조건을 무게 혹은 개수로 한정지어 품종별

수요를 구분해야 하는 경우에 있어 제한적이었다. 하지만 현실에서는 인원과 물품과 같이 적재공간에 대하여 단순히 무게의 합이 제약조건을 만족한다 할지라도 별도의 적재공간으로 구분되어있어 두 가지 모두의 제약조건을 만족시켜야만 수송이 가능한 경우가 발생한다. 대표적인 예가 항공기이며, 항공기는 인원 수송과 물품 수송을 동시에 할 수 있으나 그 적재공

Table 1. Summaries of previous studies

Author	Year	Solution Approach
• International previous researches		
Min	1989	TSP method with (i) Cluster-first (ii) route-second
Salhi and Nagy	1999	Insertion-based heuristic
Dethloff	2001	Mathematical formulation with insertion-based heuristic
Gribvoskaia et al.	2002	Lasso-solution : first customers on the route are visited twice
Gronalt et al.	2003	Minimization of empty vehicle movements with four different savings based heuristics (SA, OSA, SSA, OSSA) for the problem
Crispim and Brandão	2005	Hybrid algorithm (i) tabu search (ii) variable neighbourhood descent
Ganesh and Narendran	2008	(i) First phase : agglomerative procedure to find an initial solution (ii) second phase : enhanced simulated annealing (SA)
Wassan et al.	2008	Reactive tabu search metaheuristic (i) checking feasibility of proposed moves quickly (ii) reacting to repetitions to guide the search
Emmanouil et al.	2009	Hybrid solution approach (i) tabu search (ii) guided local search
• Domestic previous researches		
Kim	1994	Sub-optimal heuristic solution with considering trade-off between the traveling distance and the picking-up amount
Park and Kim	2004	Considering homeward-route transport requirement with relaxed constraint that vehicle can visit the depot several times
Song	2006	Grouping Genetic Algorithms with time window
Jeon and Lee	2007	Genetic Algorithms allowing visits several time
Park et al.	2010	Genetic Algorithm for cost minimization
Jung et al.	2012	Genetic Algorithm (i) initial result : swap algorithm, (ii) final result : 3-optimal algorithm

간의 한계가 구분되어 고려해야하는 특수한 조건을 갖고 있다. 따라서 이번 연구는 단순한 VRPSDP가 아닌 서로 다른 적재용량을 가진 다용량(heterogeneous fleet) 차량에 대하여 독립적인 적재공간을 갖는 다품종 문제의 최소거리 차량경로 최적해를 구하는 방법을 제안한다.

또한 본 연구는 군 수송기의 물류수송에 대한 특수한 환경을 적용하여 민간기업과 같이 이윤추구를 목적으로 최소거리 수송경로를 찾는 현실과 달리 제한된 시간 내에 인원과 장비가 목표지역에 도달하여 작전이 원활하게 수행되거나 부대의 운영/유지를 위한 보급품 수송이 원하는 시간에 도착할 수 있도록 수송기별 수송시간의 격차를 최소화하는 모형을 추가적으로 제안한다. 이 개념은 일반기업 등에서도 작업 시간의 형평성이 고려되어 회사 전체의 영업시간이 준수되는 등 수송을 담당하는 직원들의 복지가 보장되고, 1회 운송을 마치고 차고지(depot)로 복귀하는 차량들의 합류시점 간의 차이를 단축하여 2차 운송에 대한 배송 계획 수립시 차량보유 대수 제한이라는 현실적 한계를 일정부분 극복하는데 도움이 된다. 이와 더불어 운송을 담당하는 인원의 입장에서 회사의 입장에서 비용을 줄이기 위해 특정 차량의 운행 소요가 집중된 형태의 스케줄을 방지할 수 있다.

3. 수리모형

3.1 모형의 개요 및 용어정의

본 연구의 HVRPSDP는 단일 depot에 적재용량이 상이한 k 대의 차량이 존재하고 각 차량은 depot에서 출발 및 복귀하며 s 가지 제품에 대하여 수요지로 배달과 수거 임무를 동시에 수행하되 적재공간의 한계를 독립적으로 갖는 문제로서 군 수송기의 운행거리가 최소가 되도록 구성하였다. 모형의 기본 가정 및 제약은 다음과 같다.

첫째, 단일 차고지(depot)에 k 대의 수송기가 존재하며, 모든 수송기는 이 차고지에서 출발하여 다시 차고지로 복귀한다.

둘째, 각 수요지의 배달량 및 수거량은 1회 방문에 의해서 만족되며, 각 수요지는 수송기의 1회 방문만 허용한다.

셋째, 수요지간 거리는 유클리디언 거리로 산출한 값을 사용한다.

넷째, 수송기의 적재 용량은 수송기종별로 상이하다.

다섯째, 각 수송기의 경로에 포함된 수요지의 배달량은 수송기 출발시 모두 단일차고에서 적재되며, 배달량은 수송기의 적재용량을 초과할 수 없다.

여섯째, 각 수송기의 경로에 포함된 수요지의 수거량의 합은 수송기의 적재용량을 초과할 수 없다.

이번 연구에서 사용되는 용어는 다음과 같다.

<Parameters>

n : i, j 로 색인(index)되는 수요지 수,

$i, j \in N = \{0, \dots, n\}$, 단, $0 = Depot$

m : s 로 색인되는 배달 및 수거의 품종 수,

$s \in M = \{1, \dots, m\}$

k : k 로 색인되는 수송기 수, $k \in K = \{1, \dots, k\}$

W_{sk} : 수송기 k 에 수용할 수 있는 s 종류의 가용적재 인원 or 무게

D_{is} : 수요지 i 에서 s 품종에 대한 배달량

P_{is} : 수요지 i 에서 s 품종에 대한 수거량

L_{isk} : 수송기 k 가 수요지 i 에 도착시 배달해야하는 s 품종에 대한 남은 배달물품의 수(무게)

Q_{isk} : 수송기 k 가 수요지 i 를 출발시 s 품종의 남은 수거물품의 수(무게)

d_{ij} : 수요지 i 와 j 사이의 거리

π_i : 부분경로 방지를 위한 변수

<Binary variables>

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1: \text{수송기 } k \text{가 } i \text{와 } j \text{ 사이를 운행하였을 경우} \\ 0: \text{운행하지 않았을 경우} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1: \text{수요지 } i \text{를 수송기 } k \text{가 방문하였을 경우} \\ 0: \text{방문하지 않았을 경우} \end{cases}$$

3.2 HVRPSDP 수리모형

$$\text{Min. } z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} d_{ij} \times x_{ijk} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{k \in K} y_{ik} = 1 \quad \forall i \in N \setminus \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ijk} = y_{jk} \quad \forall j \in N, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \setminus \{0\} \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \setminus \{0\} \quad (5)$$

$$x_{iik} = 0 \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{0\}} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{0\}} \sum_{k \in K} x_{0jk} - \sum_{i \in N \setminus \{0\}} \sum_{k \in K} x_{i0k} = 0 \quad (8)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} - \sum_{j \in N} x_{jik} = 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (9)$$

$$L_{0sk} = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} D_{js} \times x_{ijk} \quad \forall s \in M, \forall k \in K \quad (10)$$

$$L_{0sk} \leq W_{sk} \quad \forall s \in M, \forall k \in K \quad (11)$$

$$\begin{aligned} L_{isk} - D_{is} - L_{jsk} & \quad \forall i \in N, \\ & \leq (1 - x_{ijk}) W_{sk} \quad \forall j \in N \setminus \{0\}, \\ & \quad \quad \quad \forall s \in M, \forall k \in K \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} Q_{isk} + P_{js} - Q_{jsk} & \quad \forall i \in N, \\ & \leq (1 - x_{ijk}) W_{sk} \quad \forall j \in N \setminus \{0\}, \\ & \quad \quad \quad \forall s \in M, \forall k \in K \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} L_{isk} + D_{is} + P_{is} & \quad \forall i \in N, \\ & \leq W_{sk} + (1 - y_{jk}) W_{sk} \quad \forall j \in N \setminus \{0\}, \\ & \quad \quad \quad \forall s \in M, \forall k \in K \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \pi_i - \pi_j + N \sum_{k \in K} x_{ijk} & \quad \forall i \in N, \forall j \in N, \\ & \leq N - 1 \quad \quad \quad i \neq j \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} L_{isk} \geq 0, \quad Q_{isk} \geq 0 & \quad \forall i \in N, \forall s \in M, \\ & \quad \quad \quad \forall k \in K \end{aligned} \quad (16)$$

$$\pi_j \geq 0 \quad \forall j \in N \quad (17)$$

본 수리모형의 목적함수 (1)은 수송기의 최소 운행거리를 구하는 것이다. 제약식 (2)는 모든 수요지에 수송기가 1회만 방문을 허용하는 것을 의미하며, 제약식 (3)은 y_{ik} 변수들을 x_{ijk} 의 변수들로 표현하는 방식을 나타낸다. 제약식 (4)와 (5)는 수요지와 수요지 사이의 운행을 1회만 허용하는 것을 의미하며, 식 (6)은 수송기가 한 지점에서 도는 경우를 방지하는 제약이고, 식 (7)은 모든 수송기는 depot에서 출발해야 한다는 의미이다. 식 (8)은 depot에서 출발한 수송기는 반드시 depot으로 복귀해야 하는 제약이고, 식 (9)는 한 수요지점에 도착한 후에는 다음 지점이나 depot으로 출발해야 한다는 수송기흐름의 연속성을 나타내는 제약이다. 식 (10)~식 (14)는 배달에 관한 제약식으로써 식 (10)은 수송기 k 가 depot을 출발할 때 각 품종 s 의 총 배달량을 식 (11)는 이 총 배달량이 항공기 k 의 가용 탑승인원 및 적재무게를 넘어서면 안 된다는 의미이며, 식 (12)~식 (14)는 수송기 k 가 운행간 배달하고 수거하는 인원 및 물품의 수량이 수송기의 가용성에 합당해야 한다는 의미이다. 식 (15)은 부분경로 방지를 위한 제약조건이며, 식 (16)는 배달과 수거시 인원과 물품이 음수가 나오는 것을 방지하기 위한 제약 조건이다. 식 (17)은 부분경로 방지변수는 양의 정수를 가져야 한다는 제약식이다.

3.3 수송시간 격차를 최소화하는 수리모형

수송시간 격차를 최소화하는 수리모형은 제 3.2절 HVRPSDP의 최소거리 개념보다 각 수송기의 운행시간이 최소화 되도록 한다. 다시 말하면 이번 모형의 목적은 수송기별 책임 경로를 모두 방문한 후 depot으로 도착하는 시간 중 최종적으로 복귀하는 수송기의 운행시간이 최소가 되게 하는 것이다. 모형 구축을 위해 새로운 결정변수 및 매개변수를 다음과 같이 정의한다.

T_k : 수송기 k 의 경로운송 총 소요시간

v_k : 수송기별 속도

t_l : 물품의 무게에 따른 적재 또는 하역(loading and unloading)시 단위시간

t_p : 인원의 수에 따른 승차 또는 하차시 단위시간

T_k 는 해당 수송기 k 의 성능에 따라 부여된 운송경로를 모두 방문하는데 소요된 시간과 배달과 수거를 위하여 적재와 하역하는데 소요되는 시간의 총 합이다. 만약 수송하는 품종이 여러 종류의 물품만이 아닌 인원이 포함된 경우 다음과 같이 구분하여 적용하는 것이 바람직하다.

$s = 1$ 을 인원, $s = 2, \dots, m$ 을 물품이라 하면,

(i) $\sum_{i \in N \setminus \{0\}} D_{i1} = 0$ 인 경우,

$$\begin{aligned} T_k^{(i)} &= \left(\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} d_{ij} \times x_{ijk} \right) / v_k \\ &+ \left(\sum_{i \in N \setminus \{0\}} \sum_{s \in M \setminus \{1\}} D_{is} \times x_{ijk} + \sum_{i \in N \setminus \{0\}} \sum_{s \in M \setminus \{1\}} P_{is} \times x_{ijk} \right) \times t_l \end{aligned}$$

(ii) $\sum_{i \in N \setminus \{0\}} D_{is} = 0$ ($s = 2, \dots, m$)인 경우,

$$\begin{aligned} T_k^{(ii)} &= \left(\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} d_{ij} \times x_{ijk} \right) / v_k \\ &+ \left(\sum_{i \in N \setminus \{0\}} D_{i1} \times x_{ijk} + \sum_{i \in N \setminus \{0\}} P_{i1} \times x_{ijk} \right) \times t_p \end{aligned}$$

(iii) $\sum_{i \in N \setminus \{0\}} D_{is} > 0$ ($s = 1, \dots, m$)인 경우,

$$T_k^{(iii)} = \max(T_k^{(i)}, T_k^{(ii)})$$

(i)은 물품만 수송시 배달과 하역 소요시간은 배달/수거량에 비례하고, (ii)는 인원만 수송시 소요시간은 승차/하차 인원에 비례하며, (iii) 물품과 인원을 수송시 물품과 인원의 적재/하역, 승차/하차는 동시에 이루어질 수 있으므로 소요시간이 더 오래 걸린 시간을 고려하면 된다. 위 개념을 포함한 수송시간 격차를 최소화 하는 수리모형은 다음과 같다.

$$\text{Min} \quad \max(T_1, T_2, \dots, T_k) \quad (18)$$

s.t.

$$\sum_{k \in K} y_{ik} = 1 \quad \forall i \in N \setminus \{0\} \quad (19)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ijk} = y_{jk} \quad \forall j \in N, \forall k \in K \quad (20)$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \setminus \{0\} \quad (21)$$

$$\sum_{j \in M} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \setminus \{0\} \quad (22)$$

$$x_{iik} = 0 \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, \forall k \in K \quad (23)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{0\}} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (24)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{0\}} \sum_{k \in K} x_{0jk} - \sum_{i \in N \setminus \{0\}} \sum_{k \in K} x_{i0k} = 0 \quad (25)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} - \sum_{j \in N} x_{jik} = 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (26)$$

$$L_{0sk} = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} D_{js} \times x_{ijk} \quad \forall s \in M, \forall k \in K \quad (27)$$

$$L_{0sk} \leq W_{sk} \quad \forall s \in M, \forall k \in K \quad (28)$$

$$L_{isk} - D_{is} - L_{jsk} \leq (1 - x_{ijk}) W_{sk} \quad \forall i \in N, \forall j \in N \setminus \{0\}, \forall s \in M, \forall k \in K \quad (29)$$

$$Q_{isk} + P_{js} - Q_{jsk} \leq (1 - x_{ijk}) W_{sk} \quad \forall i \in N, \forall j \in N \setminus \{0\}, \forall s \in M, \forall k \in K \quad (30)$$

$$L_{isk} + D_{is} + P_{is} \leq W_{sk} + (1 - y_{jk}) W_{sk} \quad \forall i \in N, \forall j \in N \setminus \{0\}, \forall s \in M, \forall k \in K \quad (31)$$

$$\pi_i - \pi_j + N \sum_{k \in K} X_{ijk} \leq N - 1 \quad \forall i \in N, \forall j \in N, i \neq j \quad (32)$$

$$L_{isk} \geq 0, Q_{isk} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall s \in M, \forall k \in K \quad (33)$$

$$\pi_j \geq 0 \quad \forall j \in N \quad (34)$$

위 수리모형의 목적함수 식 (18)은 수송기 k 의 운행 소요시간이 가장 큰 것을 최소화한다는 것이다. 식 (19)~식 (26)는 식 (2)~식 (9)와 동일하며, 수요지간의 운행 횟수, 수요지 방문횟수, 차량 흐름의 연속성, depot에서 출발과 도착 여부를 제약하는 조건이다. 식 (27)~식 (31)은 식 (10)~식 (14)와 동일하며, 수송기의 수요지 방문간 배달과 수거에 대한 조건식고 식 (32)~식 (34)는 식 (15)~식 (17)과 동일한 조건식이다. 본 모형의 적용을 통하여 전체적인 운송수단의 종료시간간 격차를 최소화함으로써 일정한 시간 내에 임무가 완료되고, 다음 임무부여가 수월해 질 수 있다.

4. 수치실험 및 결과분석

4.1 실험조건 및 예제

본 연구의 실험에서는 현재 운영 중인 공수 노선에 대하여 3장에서 제시한 수리 모형으로 IBM사의 최적화 도구인 ILOG CPLEX ver. 12.4를 활용하여 최적해를 산출한다. 구성된 실험

데이터는 실제를 기반으로 다소 가공하였다. 수송기 출발 및 복귀하는 depot의 수는 하나이며 수요지 수 n 은 depot를 포함하여 12개로 설정하였고, 각 위치는 <Table 2>의 그림에서 확인할 수 있다. 또한 각 수요지별 인원 및 물품량의 정보는 <Table 2>와 같다.

Table 2. Node informations

Locations	Delivery quantity		Pick-up quantity	
	Passenger	Goods	Passenger	Goods
A	23	4,200	15	2,800
B	12	2,500	4	2,300
C	20	2,000	14	2,600
D	7	3,500	18	3,000
E	30	2,000	28	3,500
F	13	3,000	11	1,000
G	8	1,600	6	1,300
H	4	2,100	3	500
I	16	4,100	10	2,300
J	5	3,000	6	3,100
K	4	2,400	3	1,200
depot	0	0	0	0

수송기는 3종의 총 4대로 가용탑승 인원과 적재무게에 대한 정보는 현재 보유하고 있는 군 수송기의 성능을 가공하여 실험에 적합하게 <Table 3>과 같이 설정한다.

Table 3. Aircraft informations

Aircraft No.	Maximum number	
	Passenger(person)	Weight on Board(kg)
1	40	12,000
2	50	8,000
3	50	8,000
4	80	12,000

수요지 위치에 대하여 유클리디언 거리에 의한 상대거리는 <Table 4>와 같고, <Table 4>에서 0번 노드를 depot로 설정하며 A부터 K 노드가 인원과 물품에 대한 수요지를 나타낸다.

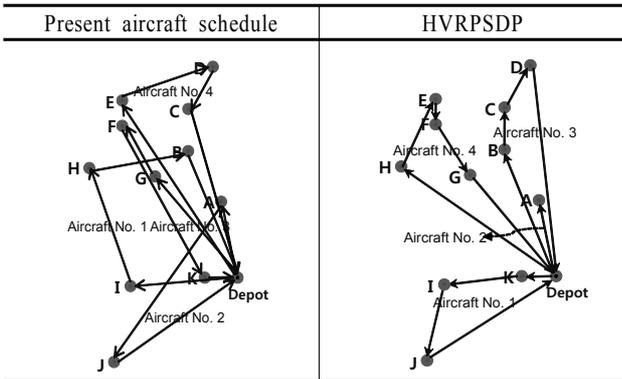
Table 4. Relative distance of between nodes

(Unit : km)												
	depot	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
depot	0	1260	2820	3180	3600	4140	3750	2760	2700	2310	3890	1100
A	1260	0	1580	1920	2430	2970	2640	1700	1580	2150	4240	1390
B	2820	1580	0	400	1700	1440	1240	780	570	2510	4740	2510
C	3180	1920	400	0	1480	1260	1200	1080	890	2880	5100	2910
D	3600	2430	1700	1480	0	2520	2620	2480	2270	4100	6350	3760
E	4140	2970	1440	1260	2520	0	500	1430	1440	3110	5100	3580
F	3750	2640	1240	1200	2620	500	0	1000	1060	2610	4610	3130
G	2760	1700	780	1080	2480	1430	1000	0	220	1840	4030	2150
H	2700	1580	570	890	2270	1440	1060	220	0	1990	4200	2180
I	2310	2150	2510	2880	4100	3110	2610	1840	1990	0	2250	1220
J	3890	4240	4740	5100	6350	5100	4610	4030	4200	2250	0	2940
K	1100	1390	2510	2910	3760	3580	3130	2150	2180	1220	2940	0

4.2 HVRPSDP 실험결과 및 분석

제시한 실험에 대하여 CPLEX를 이용하여 도출한 수송기 운행 최소거리는 27,680km로 산출되었고 계산시간은 약 22.34초가 소요되었다. <Table 5>에서와 같이 도출된 수송기의 최적경로 및 각각의 운행거리를 보면 현재운영 중인 공수노선 운행거리 33,570km와 비교할 때 상당한 운영 효율화가 가능한 것을 알 수 있다.

Table 5. Optimal travel routes and distances of each aircraft



(Unit : km)

Aircraft No.	Travel distance	Aircraft No.	Travel distance
1	4,870	1	8,420
2	9,390	2	2,520
3	7,990	3	8,300
4	11,320	4	8,400
Total	33,570	Total	27,680

<Table 5>의 결과를 조금 더 자세히 살펴보면 각 수송기별 최적경로 및 노드에서 배달과 수거에 대한 현황은 <Table 6>과 같다.

실험결과는 <Table 6>에서와 같이 1번 수송기는 출발시 K, I, J 수요지에 대한 인원 25명과 물품 6,800kg을 적재하고 K 수요지로 이동하여 인원 4명, 물품 2,400을 내리고 다시 인원 3명과 물품 1,200kg을 싣고 I 수요지로 이동한다. I 수요지에서 인원 16명, 물품 4,100kg을 내리고 인원 10명과 물품 2,300을 싣고 수요지 J로 이동한다. 마찬가지로 수요지J에서 인원 5명, 물품 3,000kg을 내리고 다시 인원 3명과 물품 3,100kg을 싣고 최초 위치인 depot으로 인원 16명과 물품 4,600kg을 싣고 복귀한다. 2, 3, 4번 수송기도 동일하게 인원과 물품을 독립된 공간에 구분하여 탑승, 적재 후 해당 수요지를 들러 적재한 인원과 물품을 배달/수거하고 최초 위치인 depot으로 복귀한다.

따라서 기존 VRP에서 발전하여 수요지에 대한 인원과 물품에 대하여 품목별 배달 및 수거량을 세부적으로 구분한 배송계획 수립이 가능하다. 이 때, 수요지에서 요구하는 물품의 종류가 다양하다면 종류별로 구분하여 최적의 수송기내 배치와

Table 6. Traveling routes and delivery/pick-up quantity results of each aircraft

(Unit : person, kg)

· Traveling route and loading status of aircraft 1

Path	Delivery		Pick-up		Loading status	
	Passenger	Goods	Passenger	Goods	Passenger	Goods
depot	0	0	0	0	25	6,800
K	4	2,400	3	1,200	24	5,600
I	16	4,100	10	2,300	18	3,800
J	5	3,000	3	3,100	16	4,600
depot	0	0	0	0	16	4,000

· Traveling route and loading status of aircraft 2

Path	Delivery		Pick-up		Loading status	
	Passenger	Goods	Passenger	Goods	Passenger	Goods
depot	0	0	0	0	23	4,200
A	23	4,200	15	2,800	15	2,800
depot	0	0	0	0	15	2,800

· Traveling route and loading status of aircraft 3

Path	Delivery		Pick-up		Loading status	
	Passenger	Goods	Passenger	Goods	Passenger	Goods
depot	0	0	0	0	39	8,000
B	12	2,500	4	2,300	31	7,800
C	20	2,000	14	2,600	25	8,400
D	7	3,500	18	3,000	36	7,900
depot	0	0	0	0	36	7,900

· Traveling route and loading status of aircraft 4

Path	Delivery		Pick-up		Loading status	
	Passenger	Goods	Passenger	Goods	Passenger	Goods
depot	0	0	0	0	55	8,700
H	4	2,100	3	500	54	7,100
E	30	2,000	28	3,500	52	8,600
F	13	3,000	11	1,000	50	6,800
G	8	1,600	6	1,300	48	6,300
depot	0	0	0	0	48	6,300

운송계획을 수립할 수 있다.

4.3 수송시간 격차를 최소화 한 실험결과 및 분석

이번 실험에서는 수송기별 상대적 수송경로 격차를 단축시킴으로써 다른 수송기와 작업완료 시간을 맞춰 작업 시간의 형평성을 고려하고, 각 수요지에서는 제때 작전에 투입되는 인원과 물품의 보급으로 작전운영이 원활해지는 등의 효과를

위하여 시간의 개념을 적용한다. 제 3.2절의 실험결과와 비교를 위하여 수요지의 정보 및 수송기의 제원은 동일하다. 단 수송기별 운항속도는 다음과 같다.

Table 7. Velocities of each aircraft

	Aircraft No.			
	1	2	3	4
Velocity(km/h)	280	450	450	610

인원의 승하차시 소요시간은 개인별 차이가 있겠으나 균인이라는 신체 건강한 조건을 고려시 1분이 소요된다고 가정하고, 물품의 적재 및 하역시 소요시간은 100kg 당 1분이라고 가정한다.

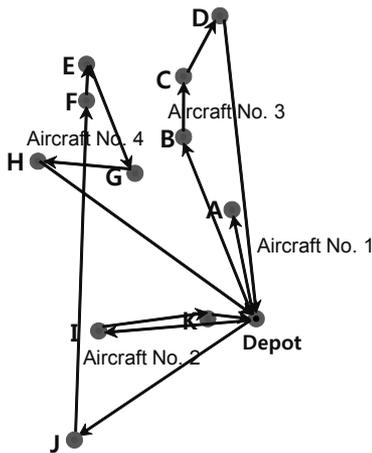


Figure 1. Optimal travel route of each aircraft

제시한 실험에 대하여 CPLEX를 통해 도출한 수송기최종 depot 복귀시간은 1313.11분으로 depot → J → F → E → G → F → depot을 다녀온 4번 수송기의 운행소요 시간이다. 이 실험은 <Figure 1>에서와 같이 제 3.2절의 최소거리 경로와 다른 결과가 나오는 것을 알 수 있다. 두 실험간의 결과비교는 <Table 8>과 같다.

실험 결과로부터 운행거리를 최소화하기 위한 HVROSDP 실험(모형 1)은 2번 수송기에 의해 가장 먼저 인원과 물품을 수송받게 될 수요지 A와 1번 수송기에 의해 인원과 물품을 가장 늦게 수송받게 될 수요지 J의 시간 간격이 811.29분 차이가 난다. 반면 수송시간 격차를 최소화하기 위한 이번 실험(모형 2)은 1번 수송기에 의해 수요지 I가 인원과 물품을 가장 먼저 공급받고, 4번 수송기에 의해 수요지 H가 가장 늦게 수송받으며 시간차이는 739.54분이다. 즉 어느 조직보다도 시간의 중요성이 높은 군(軍)에서 흠어져있는 부대들이 동시에 임무 계시를 위한 시간을 71.75분 절약할 수 있다는 것은 시간의 유연성을 그만큼 확보할 수 있다는 점에서 거리를 최소화하는 것보다 의미가 클 수 있다. 또한 수송기가 원점(depot)으로 복귀하

Table 8. Comparing experiment result of between HVRPSDP and problem for minimizing a travel time gap

Aircraft No.	HVRPSDP	Experiment of minimizing time gap
Path	1 depot → K → I → J → depot	depot → A → depot
	2 depot → A → depot	depot → I → K → depot
	3 depot → B → C → D → depot	depot → B → C → D → depot
	4 depot → H → E → F → G → depot	depot → J → F → E → G → H → depot
Travel distance (km)	1 8,460	2,520
	2 2,520	4,630
	3 8,300	8,300
	4 8,400	13,350
Total travel distance	27,680	28,800
Travel time (minute)	1 1,812.86	540.00
	2 336.00	617.33
	3 1,106.67	1,106.67
	4 826.23	1,313.11
Time gap	1,476.86	773.11

는 시간을 고려하였을 경우에도 모형 1보다 모형 2가 <Table 7>에서와 같이 703.75분 빨리 복귀함으로써 장차 운송수단의 활용 측면에서도 상당히 큰 이점을 얻을 수 있다.

모형 1에서는 수송기별 방문하는 수요지가 고르게 분포되어 있으나, 수송시간 격차를 고려한 모형 2에서는 수송기의 성능과 적재능력을 고려하여 특정 수송기(4번)가 넓은 지역을 운행함으로써 이동거리는 다소 증가하지만 작전을 원활하게 수행하고, 부대의 운영/유지를 위한 보급품 수송이 신속히 이루어지는 점에서 수송의 특성에 따라 운송수단을 운영하는 패턴을 달리해야 함을 확인하였다. 따라서 이익을 우선으로 하는 회사 등의 민간기업과 달리 군(軍)은 작전수행 동시성 및 다음 임무부여를 위하여 융통성 측면에서 두 번째 실험방법으로 수송기 운송계획을 수립하는 것이 더 효과적이다.

5. 결론 및 향후 연구과제

이번 연구는 최근 국가적 관심이 높아지고 있는 물류 수송의 효율화를 위하여 배달과 수거가 동시에 이루어지는 환경에서 여러 품종이 독립적 적재공간을 갖고 최적의 차량경로 찾는 문제를 공군의 수송문제를 가지고 현실성있게 다루었다. 기존연구에서는 다품종(heterogeneous products)이라 할지라도 결국 제약식에서 같은 단위로 묶을 수 있어 수리모형을 만드는 조건이 까다롭지 않았으나 본 연구는 여러 종류의 품종이 수송을 하게

되는 차량에 별도의 독립적 조건을 모두 만족해야 하는 새로운 접근법을 시도하였다는 것에서 의의가 있다고 할 것이다.

또한 군과 같이 임무수행이 우선되고, 시간준수의 중요성이 높은 조직에서 활용할 수 있는 수송시간 격차를 최소화하는 모형을 제시하였다. 기존의 연구들이 거리를 최소화하거나 전체 수송시간을 최소화하는 등을 그 목적으로 하고 있으나 이번 연구에서는 각각의 운송수단들의 운영시간을 통제하여 수요지에서 임무수행의 동시성을 보장하고, 복귀한 운송수단의 활용성을 높이는 효과를 가져 올 수 있게 하였다.

향후 연구방향으로는 지금까지 모든 배달 및 수거하는 물품의 기준을 무계로 고려한 것에 추가하여 각 품종별 부피를 동시에 고려하여 차량의 적재공간에 대한 현실적 접근을 한 VRP를 고려해야 한다. 이를 위해 3차원 배치문제(nesting problem, 2007)와 혼합한 형태의 VRP가 다루어져야 할 것이다. 또한 운송수단의 특성을 다양화함으로써 인원 수송만 가능한 차량, 물품수송만 가능한 차량, 인원과 물품 모두 수송가능한 차량을 복합적으로 배치하여 수요지에 따른 다양한 요구사항을 만족시킬 수 있도록 하여야 할 것이다. 현재 단일 depot의 경우 모든 차량 등의 운송수단은 한 곳에서 출발하여 반드시 복귀해야 하는 단편적인 물류현실을 반영하고 있으나, 규모를 확대하였을 경우 다수의 depot가 존재하고 각 depot마다 일정 수의 수요지가 존재한다면 차량은 수요지의 요구에 따라 배달과 수거를 동시에 수행하면서 자신의 출발 depot로 복귀하거나 혹은 경로 이동 후 depot의 차량수가 같기만 하다면 어느 depot로라도 복귀 가능하게 하는 모형도 연구할 가치가 있다.

참고문헌

- Crispim, J. and Brandao, J. (2005), Meta heuristic applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems with backhauls, *Journal of the Operational Research Society*, **56**, 1296-1302.
- Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. (1959), The truck dispatching problem, *Management Science*, **6**, 80-91.
- Dethloff, J. (2001), Vehicle routing and reverse logistics : the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up, *OR Spektrum*, **23**(1), 79-96.
- Egeblad, J., Nielsen, B., and Odgaard, A. (2007), Fast neighborhood search for two- and three-dimensional nesting problems, *European Journal of Operational Research*, **183**(3), 1249-1266.
- Emmanouil, E. Zachariadis, Christos D. Tarantilis, and Chris, T. K. (2009), A hybrid metaheuristics for the vehicle routing problems with simultaneous delivery and pick-up service, *Expert Systems with Applications*, **36**(2), 1070-1081.
- Ganesh, K. and Narendran, T. T. (2008), TASTE : a two-phase heuristic to solve a routing problem with simultaneous delivery and pick-up, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **37**, 1221-1231.
- Gribvoskaia, I., Halskau, O., and Myklebost, K. (2002), Models for pick-up and deliveries from depots with lasso solutions, Molde University College, Norway.
- Gronalt, M., Hartl, R., and Reiman, M. (2003), New saving based algorithms for time constrained pickup and delivery of full truckloads, *European Journal of Operational Research*, **151**(1), 520-535.
- Jeon, G. and Lee, C.-M. (2007), A Vehicle Route Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up, *Thesis Collection published by Korea National Defense University*, **15**(2), 213-242.
- Jung, Y.-H., Kim, G.-G. and Lee, S.-H. (2012), Dual-depot Heterogeneous Vehicle Routing Problem Considering Reverse Logistics, *Management Science by KORMS*, **29**(1), 89-99.
- Kim, N.-H. (1994), Simultaneous Consideration of Delivery and Pick-up in Vehicle Routing Problem, A mater's thesis of Ajou University.
- Min, H. (1989), The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up, *Transportation Research Part A*, **23A**(5), 377-386.
- Park, G.-J. Kim, K.-T., and Jeon, G. (2010), A Vehicle Routing Problem to Minimize the Transportation Cost with Simultaneous Delivery and Pick-up, *Journal of Defence Science and Technology*, **3**(3), 43-51.
- Park, M.-W. and Kim, D.-J. (2004), A Study on Vehicle Routing Problem considering Homeward-route Transport Requirement, *MORS-K*, **30**(2), 81-95.
- Salhi, S. and Nagy, G. (1999), A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling, *Journal of the Operational Research Society*, **50**(10), 1034-1042.
- Song, J.-E., Kim, H.-S., Lee, M.-H., and Kim, N.-H. (2006), A Grouping Genetic Algorithm for the Pick-up and Delivery with Time Windows, 2006 Spring Thesis Collection of KIIE and KORMS.
- Wassan, N. A., Wassan, H., and Nagy, G. (2008), a reactive tabu search algorithm for the vehicle routing problem SDP, *Journal of combinatorial Optimization*, **15**(4), 368-386.