

3PL 업체의 기업물류 운송비용 산정을 위한 의사결정 지원시스템 개발*

최지영¹ · 이상락² · 이경식³ · 이정훈^{4†}

¹한국전자통신연구원 기상위성지상국개발단, ²현대자동차 차량IT지원팀
³서울대학교 산업공학과 & 산업시스템혁신연구소, ⁴한국전자통신연구원 우정기술연구센터

Development of a Decision Support System for Estimation of Transportation Cost of 3PL Provider

Jiyoung Choi¹ · Sangrak Lee² · Kyungsik Lee³ · Jeong-hun Lee^{4†}

¹Meteorological Satellite Ground Segment Development Department, ETRI,

²Vehicle IT Team, Hyundai Motor Group

³Department of Industrial Engineering &

Institute for Industrial Systems Innovation, Seoul National University,

⁴Postal Technology Research Center, ETRI

■ Abstract ■

The percentage of 3PL (Third-party Logistics), which uses third party businesses to outsource elements of the company's distribution and fulfillment services, is increasing steadily. To provide 3PL service to the customers, it is needed to estimate the total transportation cost and propose the unit cost to the customers. In this paper, we develop a decision support system for estimation of transportation cost of 3PL provider considering various transportation services, such as direct transportation, multi point visiting transportation, and cross docking. The system supports route planning of vehicles by using algorithms based on tabu search and dynamic programming.

Keywords : Decision Support System, Transportation Cost, Vehicle Routing, 3PL

논문접수일 : 2016년 11월 11일 논문게재확정일 : 2017년 02월 06일

논문수정일 : 1차(2016년 12월 21일), 2차(2017년 01월 17일)

* 본 연구는 미래창조과학부 우정사업본부의 우정기술연구개발사업의 일환으로 수행하였음(과제번호 : 1711045901, SMART Post 확산 기술 개발).

† 교신저자, jhunlee@etri.re.kr

1. 서 론

B2B(Business To Business)란 기업이 기업을 대상으로 각종 서비스나 물품을 판매하는 방식의 전자상거래로, B2B 물류(기업물류) 서비스의 경우 기업체의 생산 계획 및 운송 목적지에 따라, 그리고 생산 물품의 형태 및 종류에 따라 다양한 운송유형이 존재할 수 있다. <Figure 1>은 일반적인 기업물류 서비스 운송유형을 나타낸다.

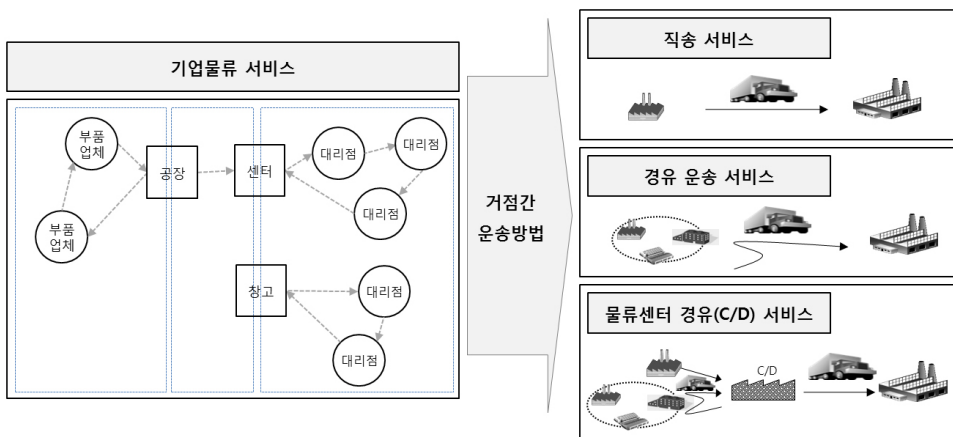
직송은 출발지에서 도착지로 바로 운송하는 형태로, 물량이 많고 출발지와 도착지간 거리가 먼 경우 주로 이용된다. 경유 운송은 여러 곳을 경유하여 물량을 싣고 도착지로 운송하는 형태로, 각 지점의 물량이 적고 운송거점간 거리가 가까운 경우 이용된다. C/D(Cross Docking)는 물류센터로 입고되는 상품을 물류센터에 보관하는 것이 아니라, 분류 또는 재포장의 과정을 거쳐 곧바로 다시 배송하는 물류 시스템이다. 대량의 여러 상품이 여러 공급자/생산업자로부터 물류센터에 도착하면 보관하지 않고 바로 각 매장이나 고객의 주문에 맞게 소량으로 나누어 배달하여 물류센터의 무재고를 달성하는 개념이다.

이와 같은 기업물류 서비스를 수행함에 있어 무역협회가 실시한 ‘2014년 3PL 및 물류공동화 활용 실태조사’에 따르면 화주기업의 3PL(Third-party Logistics) 활용률은 66.4%로 높은 편이다[11]. 기업이 원

자재나 제품의 적기 조달과 투자비 절감을 피하고 핵심적인 사업 분야에 역량을 집중하려는 추세를 보 이면서 물류분야는 과감히 제 3자에게 대행시키는 것으로, 최근에는 전자상거래 발달과 부가가치 물류의 개념이 중시되면서 4PL(Fourth-party Logistics) 등으로 발전되고 있다. 4PL은 이해관계자가 직접 연 관되지 않은 업체가 물류를 맡는 제3자 물류(3PL)에 물류 관리 및 솔루션 등의 부가서비스까지 제공하는 개념이다.

3PL 업체가 기업물류 서비스를 제공하기 위해서는 사전에 이에 대한 서비스 단가를 산정하여 해당 기업에 제안하는 과정이 필요하다. 이를 위해서는 해당 기업의 운송 네트워크를 대상으로 운송계획을 수립하여 비용을 산정하고 이를 기반으로 서비스 단가를 산정해야 한다.

물류비용 산출과 관련하여 강성진 외[1]는 군에서의 물류의 흐름에 맞는 물류 네트워크를 제안하고 물류 네트워크상에서의 비용 모델을 제시하여 군에서의 물류비용을 추정하였다. 이명철[4]은 생산 제조 형태에 따라 공급 사슬 구조를 구분하고, 그에 적합한 물류 네트워크를 정의하여 각 형태별로 물류 네트워크에 의한 물류비용을 산출하는 모델을 제안하였다. 이유세[6]는 화주기업 물류업무 아웃소싱을 통한 제3자 물류 추진 시 진단 컨설팅에 따른 물류비 산출 방법을 중심으로 현행 물류비 산정기준의 문제점을



<Figure 1> Type of Business Logistics Service

도출하고, 이를 개선할 수 있는 간이물류비 산출방안을 제시하였다. 이재준 외[7]는 건축도료를 생산하는 A사를 대상으로 현재 대고객 서비스 수준은 유지하면서 최소의 비용으로 적정 재고수준을 보장하는 신물류체계 구축을 위해 시뮬레이션을 활용하여 최적의 물류 네트워크 구축 및 적정의 물류센터 규모를 산정하였다. 이정[8]은 물류비용의 실증적 분석의 일환으로 국내 L사의 물류 네트워크를 기반으로 L사에서 추진 중인 공급사슬 전략들이 개별 물류활동을 통해 발생하는 비용에 미치는 영향을 분석하고 전체 물류비용 관점에서 최적의 물류 네트워크를 제안하였다. 조중현[9]은 물류기업들의 물류비 산정공식의 비현실성을 지적하고 이를 보완한 좀 더 현실성 있는 산정공식을 설계 및 제시하였다. 또한 식료품관련 유통업체인 J기업을 사례로 들어 TMS 도입에 따른 효과를 알아보고 기존 이동경로에 따른 유통비와 TMS 적용 후 유통비를 비교하여 얼마만큼의 비용 절감 효과가 있는지를 산출하였다.

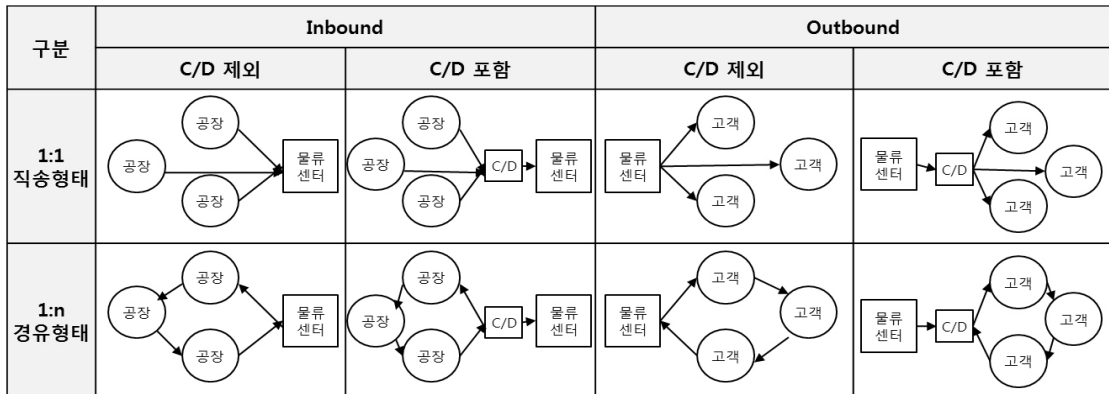
본 논문에서는 3PL 업체로 하여금 신규 기업물류 서비스에 대한 운송 계획을 수립하여 서비스 단가를 산정할 수 있는 지원 시스템을 개발하였다. 운송계획 수립을 위한 기업물류 운송형태로는 물류센터를 기준으로 입고/출고 여부에 따른 Inbound 운송 및 Outbound 운송, 출발지에서 도착지까지 직접 운송하는 직송 및 여러 곳을 경유하여 물량을 싣고 도착지로 운송하는 경유 운송, C/D 포함 여부에 따른 운

송 등 <Figure 2>에서와 같이 총 8가지의 운송 서비스를 고려하였다. 또한 기업물류에서는 다양한 부피를 가진 여러 화물을 동시에 취급할 수 있기 때문에 서로 다른 부피를 가진 화물의 차량 적재 시 적재가능여부를 판단하기 위한 적재물량 산출 로직을 포함하였다.

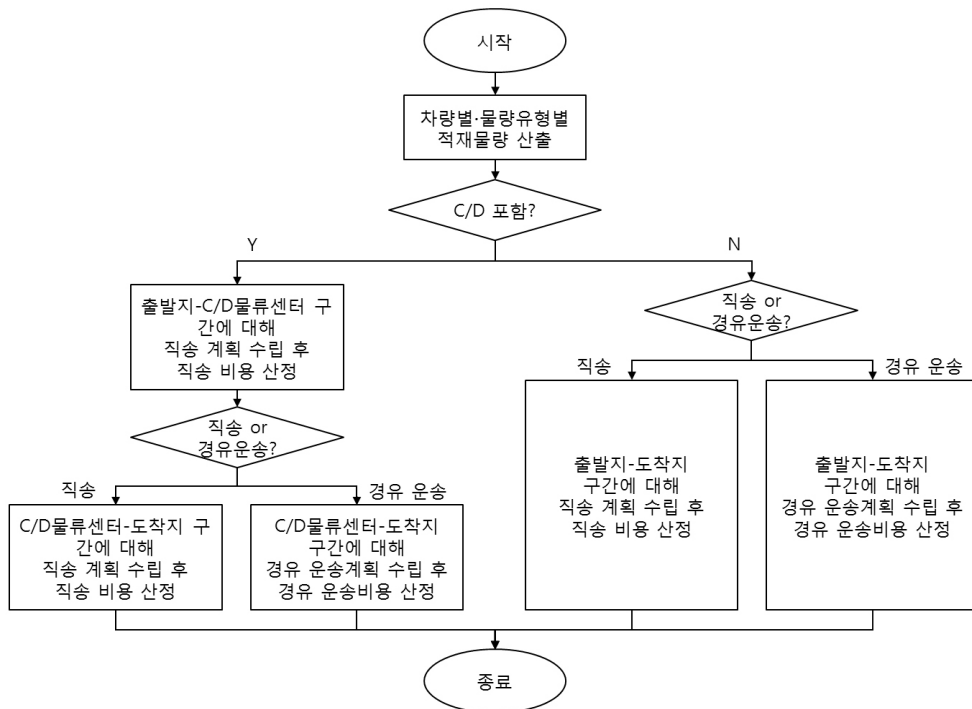
본 논문의 전체적인 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 적재물량 산출, 직송 계획, 경유 운송계획에 대한 문제 정의와 이를 해결하기 위한 알고리즘을 제시한다. 제 3장에서는 제시한 알고리즘을 탑재한 기업물류 운송비용 산정 의사결정 지원시스템 개발 내용을 U사의 사례를 들어 설명하고, 마지막으로 제 4장에서 결론을 맺는다.

2. 기업물류 운송비용 산정 알고리즘

본 장에서는 의사결정 지원시스템에 탑재된 기업물류 운송비용을 산정하기 위한 알고리즘을 설명한다. <Figure 3>은 Outbound 운송 기준으로 기업물류 운송비용을 산정하는 전체 흐름도이다. 먼저 차량별·물량유형별 적재물량은 적재물량 산출 알고리즘에서 계산하고 C/D의 포함 여부에 따라 두 가지 경우로 구분하여 운송비용을 산정한다. C/D가 포함된 경우에는 출발지와 C/D물류센터 간 구간에 대해 직송 계획을 수립하여 직송 비용을 산정하고, 직송인지 경유 운송인지에 따라 선택한 운송비용을 산정



<Figure 2> Type of Transportation Service



〈Figure 3〉 Flowchart of Transportation Cost Estimation in Case of Outbound Transportation

한다. C/D가 포함되지 않은 경우에도 마찬가지로 선택한 운송비용을 산정한다. Inbound 운송의 경우 출발지와 도착지를 바꾸어 고려하면 된다. 각 알고리즘에 대한 상세 설명은 세부 절에서 한다.

2.1 적재물량 산출

기업물류 서비스 사업에서는 다양한 부피를 가진 화물을 동시에 취급할 수 있기 때문에 차량대수 산정에 있어 서로 다른 부피를 가진 화물을 동시에 차량에 적재 시 적재가능여부를 판단하는 방법이 필요하다. 화물의 적재가능여부 판단은 운송계획 수립 시 반복적으로 활용되는 요소이며 그 용도는 소요 차량의 대수를 산정하는 것으로, 상세한 화물의 적재 위치 및 순서를 포함한 적재 방법을 구하기 위한 것이 아니다. 3차원 적재함에 다양한 화물을 적재하는 방법을 활용할 경우 상대적으로 긴 계산시간이 소요되고 실제 운영 시 그대로 활용이 어렵기 때문

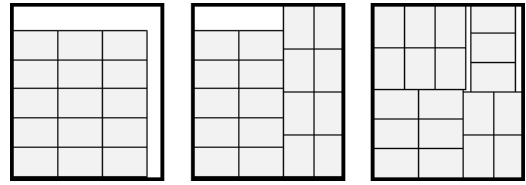
에 적합하지 않을 것으로 판단된다. 이에 서로 다른 부피를 가진 화물 각각에 대해 차량 톤급별로 적재 가능한 물량을 산출한 후, 이를 이용해 각각의 화물이 차량에서 차지하는 비율을 계산하고 각 화물의 비율을 더하여 차량 적재가능여부를 판단하였다. 본 논문에서 다루는 차량 적재물량 산출 문제는 주어진 차량 종류별 적재함에 화물 종류별로 최대한 적재할 수 있는 화물의 수를 산출하는 것으로 정의하였다.

주어진 직육면체의 적재함에 주어진 직육면체의 박스를 적재하는 Container Packing & Loading 문제는 Cutting 및 Packing 산업에서 많이 응용되어 왔다. 이 문제는 목적 함수와 추가적인 제약의 여부에 따라서 몇 가지 변형(Strip Packing 문제, Knapsack Loading 문제, Bin Packing 문제, Multi-container Loading 문제)이 존재한다.

본 논문에서 다루는 차량 적재물량 산출 문제는 이 중에서 Knapsack Loading에 해당한다고 볼 수 있다. Knapsack Loading 문제는 Strongly NP-hard

에 속하는 문제이며 일반적으로 작은 사이즈의 문제에 대해서 최적 해를 구할 수 있을 뿐 실제적인 응용 문제에서는 휴리스틱 알고리즘이 적용되어 왔다. 이러한 휴리스틱 알고리즘들 중 대표적인 기법들은 적재함의 길이(혹은 깊이)를 따라서 몇 개의 층(layer)으로 적재함을 채우는 Wall-building 기법[12, 16, 17]과 박스를 몇 개의 층(Stack)으로 쌓고, 각 층별로 2차원 Packing 문제를 풀어서 박스들을 재배치하는 Stack-building 기법[15, 18]과 메타 휴리스틱인 타부 탐색을 이용한 기법[5] 등이 있다.

본 논문에서는 빠른 시간 내에 최대 적재가능 화물의 수를 산출할 수 있는 휴리스틱 알고리즘을 설계하였다. 알고리즘 설계 시 화물의 x, y, z가 높이가 되도록 그 방향으로 세워서 쌓는 세 가지 적재방법 옵션(x-stand, y-stand, z-stand)은 혼재하지 않는 것으로 가정하였다. 즉, 모든 물량을 동일한 하나의 방향으로 세워서 높이를 동일하게 쌓는 것으로 가정하였다. 한편, 하나의 적재 옵션에 대해서는 박스를 적재하는 방향이 두 가지가 존재한다. 즉, 수평방향(박스의 x를 적재함의 X를 따라 적재하는 방법), 그리고 수직방향(박스의 x를 적재함의 Y를 따라 적재하는 방법)이 그것이다. 이에 <Figure 4>와 같이 적재함에 박스를 적재할 때 수직방향, 수평방향 두 가지의 적재방향 중 한 가지만을 고려하는 방법(UO : Uniform Orientation Packing), 적재함의 길이를 따라서 좌우로 적재함을 분리해서 각각 한 가지의 적재방향으로 적재하는 방법(OC : One-way Combination Packing), 그리고 적재함의 폭과 길이 방향 각각으로 적재방향을 달리하는 지점을 찾아서 적재함을 네 부분으로 분리해서 각각 한 가지의 적재방향으로 적재하는 방법(TC : Two-way Combination Packing)의 총 세 가지 옵션을 고려하였다. 본 알고리즘에서는 세 가지 적재 옵션 각각에 대해서 적재개수를 산정한 후, 이들 중 최댓값을 최대 적재개수로 하였다. 위 방법은 적재 높이를 한 가지로 통일하는 것으로 가정함으로써 전체 범위를 부분으로 제한하고 제한된 범위 내에서 가능 해를 모두 열거(enumeration)하여 최적의 해를 찾는 방법이다. 비



<Figure 4> Loading Option(UO/OC/TC)

록 전체 최적의 해는 보장하지 않지만 1초 이내의 짧은 시간 안에 문제를 해결할 수가 있어 요구되는 성능을 갖추었다고 할 수 있다.

2.2 직송 계획

직송 계획은 출발지와 도착지간 운송해야 할 물량(화물)유형별 물량이 주어졌을 때, 제약조건을 만족하면서 운송비용을 최소로 하는 차량유형별 소요 대수를 산출하는 것을 목적으로 한다. 이 때 제약조건으로는 도착지별 방문가능 차량유형, 차량유형별 가용차량대수 및 물량특성 제약을 고려하였다. C/D 포함 시 출발지-C/D물류센터 간, C/D물류센터-도착지 간 각각 알고리즘을 적용하여 직송 차량 대수를 산출한다.

직송 차량 대수 산출을 위해 본 논문에서는 동적계획법(Dynamic Programming)을 적용하였다. 동적계획법은 모든 문제를 한 번만 풀고, 그 해답을 테이블에 저장하고, 다음에 동일 문제를 만나면 테이블을 검색해서 해당 해답을 사용함으로써 계산 시간을 단축하는 방법이다. 동적계획법에서는 의사결정을 여러 단계에 걸쳐 하게 되는데 각 의사결정 단계를 ‘단계(Stage)’라 정의하고, 각 의사결정 단계에서 직접 의사결정에 영향을 주는 요소들의 값을 ‘상태(State)’라 정의[2]한다.

본 논문에서는 차량유형을 ‘단계’로, 물량단위(물량유형별 물량 개수)를 ‘상태’로, 차량유형별 대수를 본 문제의 의사결정 변수로 정의하였다. 즉, 전체적으로 차량 유형 개수만큼의 단계를 거치고, 이 때 각 단계에서 물량단위별 최소 비용의 차량대수 및 차량비용을 계산함으로써 최종적으로 차량유형별 비용 및 적재 물량단위를 산출하였다.

물량단위의 경우 예를 들어 물량유형이 3가지이고 각각의 물량이 100개, 200개, 300개인 경우 모든 경우의 수를 고려하기 위해서는 $101(0\text{부터 }100\text{개}) \times 201(0\text{부터 }200\text{개}) \times 301(0\text{부터 }300\text{개}) = 6,110,601$ 개만큼의 물량단위가 필요하다. 그러나 이 경우 물량단위가 너무 커져 알고리즘 수행이 불가능하다. 이어서도 다른 물량유형의 일부를 조합하는 경우는 제외하고, 한 가지 물량유형의 개수를 조정하는 경우만을 고려하기로 가정하였다. 이에 물량유형 1 개수를 조정하는 경우 $101(0\text{부터 }100\text{개}) \times 4(\text{물량유형 } 2\text{가 } 0\text{ 또는 }200\text{인 경우, 물량유형 } 3\text{이 } 0\text{ 또는 }300\text{인 경우}) = 404$ 개, 물량유형 2 개수를 조정하는 경우 804개, 물량유형 3 개수를 조정하는 경우 1,204개 등 총 2,412개의 경우의 수를 고려하였다. 위 방법은 적재물량 산출 알고리즘과 마찬가지로 전체 범위를 제한하고 범위 내에서 해를 찾는 방법으로, 물량유형 개수를 조정하여 계산한 결과 가장 시간이 많이 걸린 경우가 1초 이내로 최적의 해는 보장하지 않지만 짧은 시간 안에 문제를 해결할 수가 있어 요구되는 성능을 갖추었다고 할 수 있다.

2.3 경유 운송계획

기업물류 운송형태가 경유 운송인 경우 경유 운송 계획을 수립하여 차량 대수 및 운송비용을 산출한다. 경유 운송계획은 하나의 거점과 다수의 배달지가 있을 경우, 거점에서 출발하여 여러 배달지를 경유하고 다시 거점으로 돌아오는 경로를 수립하는 것을 의미한다. 본 논문에서는 거점의 개수가 여러 개인 경우를 고려하였으며, 이 경우 고객은 이미 거점에 할당된 것으로 가정하였다. 차량은 여러 종류의 차량 유형이 존재하고 각 유형별로 한계 대수가 주어지며 모든 거점이 공용으로 사용하는 것으로 가정하였다. 한 고객의 물량(수요)이 최대 차량 용량 이상인 경우 용량 이하의 물량만 남도록 선 처리하여 경유 운송계획을 수립한다. 각 고객의 수요와 관련하여 배송만을 고려하여 출발 시 물량을 싣고 배송한 후 빈 차로 거점으로 돌아오는 것으로 가정하였다.

수요량과 별도로 각 수요는 차량이 방문해야 하는 시간대(Time Window)를 가진다. 이와 같이 방문 시간대가 주어질 경우 시간제약이 있는 차량경로문제(VRP with Time Windows, VRPTW)에 해당된다. 추가적인 제약조건으로 고객의 방문 가능 차량유형 제약, 한 차량에 다른 물량과의 혼재를 금지하고 해당 물량만 따로 운송해야 하는 혼재금지 물량유형 제약, 경로별 최대 방문고객 수 제약, 최대 운송거리 제약, 최대 운송시간 제약을 고려하였다.

차량경로문제는 최적 해를 구하기 어려운 문제로 주로 발견적(휴리스틱) 해법을 중심으로 연구가 이루어졌다. 차량경로문제에 사용된 발견적 해법의 종류는 다양하다. 그 중 대표적인 것들로 Savings 휴리스틱[14], Insertion 휴리스틱[13, 20], Improvement 휴리스틱, Cluster First Route Second 휴리스틱 등이 있다. 이러한 휴리스틱 기법들은 독립적으로 사용되기도 하지만, 타부 탐색(Tabu Search), 시뮬레이티드 어닐링(Simulated Annealing), 개미군집시스템(Ant Colony System), 또는 유전자 알고리즘(Genetic algorithm) 등의 메타 휴리스틱 등과 결합되어 사용되기도 한다[3, 10, 15, 21]. 이들 기법들은 기법의 성격상 그 성능을 보장할 수는 없으나 많은 경우에 비교적 빠른 시간 내에 좋은 품질의 해를 얻을 수 있기 때문에 많이 사용되고 있다.

본 논문에서는 경유 운송계획 수립에 있어 Insertion 휴리스틱을 이용하여 초기 경로를 생성하고, 타부 탐색으로 경로를 개선하는 방식으로 알고리즘을 구성하였다. Insertion 휴리스틱은 하나의 배달지를 따로 배달하는 것보다 다른 배달지 사이에 배달지 거리가 최대로 감소하는 것을 최적으로 하는 Distance Insertion과 배달지 추가 시 다음 배달지의 서비스 시작시간의 증가가 최소인 것을 최적으로 하는 Time Insertion의 두 가지 방법을 적용하여 더 나은 해를 초기 해로 설정하였다. 타부 탐색은 Insertion 휴리스틱에 의해 생성된 초기 경로를 대상으로 경로 간 또는 경로 내 배달지의 위치를 변경함으로써 경로를 개선하기 위해 적용되었다. 타부 탐색에서는 매 반복횟수(Iteration)마다 이웃해 집합을 생성해

이 중에서 목적함수가 가장 많이 개선되거나, 개선되는 해가 없는 경우 목적함수의 증가가 가장 적은 해를 선택한다. 개선되지 않는 해를 선택하는 경우 이전의 해로 다시 돌아가 순환(Cycle)이 발생할 수 있으므로 이를 방지하기 위해 타부 제한을 둔다. 즉 새로운 가능 해를 생성한 후 이 해가 타부가 아닌 경우에 한해 이웃 해에 포함하며, 타부인지 아닌지를 확인하기 위해서 타부 목록(Tabu List)[19]을 이용한다. 본 논문에서는 이웃해 집합을 생성하는 방법으로 두 경로 간에 노드를 교환하는 방법인 Two-opt, Insertion, Or-exchange, Swap을 사용하였다[21]. Two-opt는 두 경로 사이에 연속된 노드의 집합을 서로 교환하는 방법이다. Insertion은 한 경로에서 다른 경로로 한 노드를 삽입하는 방법이며, 연속된 두 노드를 삽입하는 방법은 Or-exchange이다. Swap은 두 경로에 각각 포함된 하나의 고객을 서로 교환하는 방법을 의미한다. 경로 간 노드를 교환하는 방법 외에 경로 내 노드의 최적 순서를 위해 경로 내 Two-opt를 적용하였다. 본 알고리즘에서는 수행시간 감소를 위해 각 반복횟수에서 한 번에 5가지 방법을 모두 적용하지 않고 순차적으로 한 개씩 선택하여 적용하였다. 경유 운송계획 알고리즘의 성능 평가를 위해 Solomon[13]의 테스트 문제를 이용하였다. 총 29개의 테스트 문제에 대해 알고리즘 수행 결과 기준에 알려진 최적 해와의 GAP이 평균 4.7%이

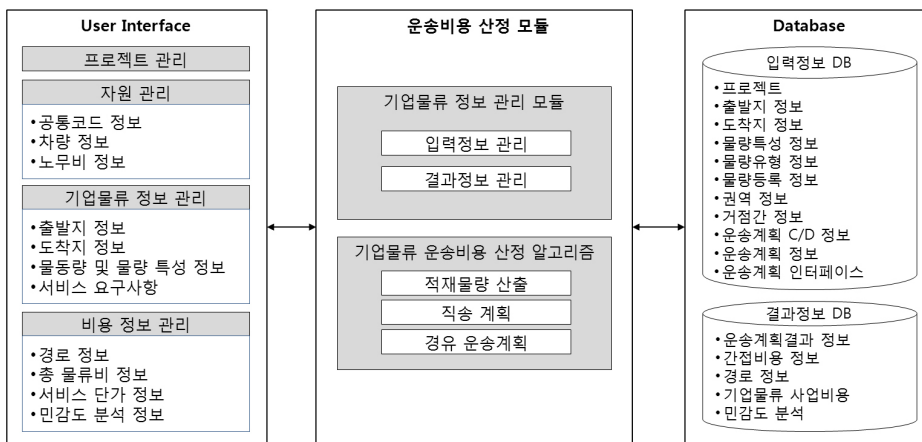
며 평균 16.4초가 소요되는 것으로 나타나 계산시간 및 해의 품질 면에서 요구되는 성능을 갖추었다고 할 수 있다.

3. 기업물류 운송비용 산정 의사결정 지원시스템 개발

본 장에서는 제 2장에서 개발한 알고리즘을 적용한 기업물류 운송비용 산정 의사결정 지원시스템에 대해 설명한다. 개발한 시스템은 <Figure 5>와 같이 User Interface, 운송비용 산정 모듈, Database로 구성된다. 시스템 개발은 Window Server 환경에 Web Server/WAS를 Tomcat으로 구성하고, Database는 Oracle을 사용하였다. 또한 최적경로를 표시하기 위해 Map Server를 설치하였다.

3.1 시스템 메뉴 구성 및 사용자 시나리오

기업물류 운송비용 산정 의사결정 지원시스템은 <Table 1>에서 보는 바와 같이 프로젝트 관리, 기업물류 비용 산정, 민감도 분석, 자원 관리의 4개의 대메뉴 및 10개의 소메뉴로 구성된다. 자원 관리는 비용 산정을 위한 기본 입력데이터를 관리하는 메뉴로 관리자만이 사용 가능하며, 나머지 메뉴는 일반 사용자와 관리자 모두 사용 가능하다.



<Figure 5> System Architecture

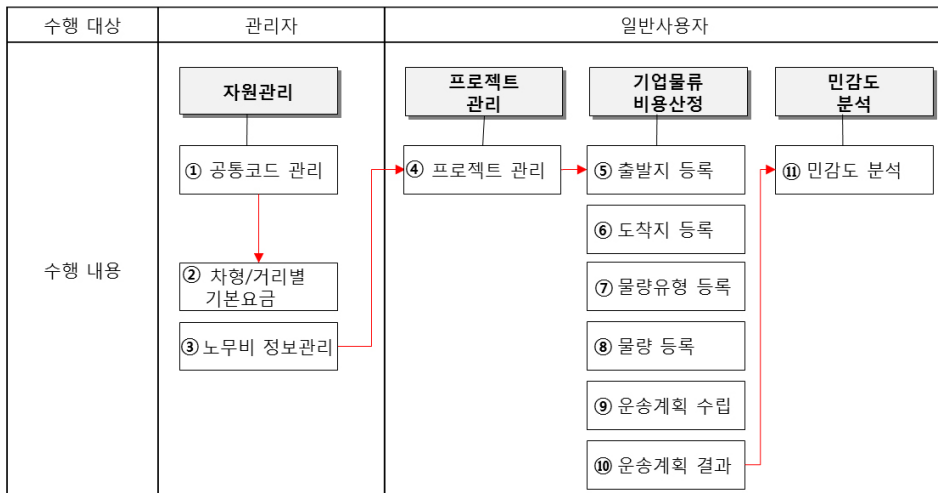
<Table 1> System Menu

메뉴		내용	비고
프로젝트 관리	프로젝트 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 프로젝트 조회, 삭제 • 신규 프로젝트 생성 	일반 사용자용
기업물류 비용산정	출발지 등록	• 화물의 출발지 정보(센터명, 주소, 시작 및 종료시간) 등록	
	도착지 등록	• 화물 배송을 위한 도착지 정보(배송처명, 주소, 방문가능차량, 상하차시간, 권역) 등록	
	물량유형 등록	<ul style="list-style-type: none"> • 현 프로젝트에서 운송해야 할 화물의 유형 정보(가로, 세로, 높이, 무게, 적재가능단수, 물량특성) 등록 • 적재수량 산출 알고리즘을 이용해 물량유형별로 차량에 적재 가능한 적재물량 산출 	
	물량등록	• 출발지에서 도착지간의 물량 유형 및 운송물량 정보 등록	
	운송계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 운송계획수립을 위한 기본 정보(월 운행일수, 운송회사) 입력 • 파라미터 정보(운송형태, C/D 포함 여부, 최대 경유지, 최대운행시간, 최대운행거리) 입력 • 차량경로계획 알고리즘을 이용하여 운송계획 수립 	
운송계획 결과	• 운송계획수립 결과에 따른 운송비용 확인 및 단위당 단가 산정		
민감도 분석	민감도 분석	• 원가 항목의 변화율에 따른 운영비용 및 단위당 단가 산정	
자원관리	공통코드관리	• 본 시스템에서 사용하는 공통코드 관리	관리자용
	차형/거리별 기본요금	<ul style="list-style-type: none"> • 위탁 차량에 대한 차형·거리대별 요금표 등록 • 차형별 보유 대수 및 고정비용 등록 	
	노무비 정보관리	• 차량 운송을 위한 인력 형태(정규직, 계약직, 파트타임, 사무직, 기술직)에 따른 노무비 정보 관리	

본 시스템을 이용한 기업물류 운송비용 산정 절차는 <Figure 6>과 같다.

- (1) 관리자가 [①~③] 화면에 기준데이터 입력
- (2) 일반사용자는 [④ 프로젝트 관리] 화면에서 프로젝트 생성

- (3) [⑤~⑩] 화면에 운송계획 수립을 위한 필요 데이터 입력 및 운송계획 수립
- (4) [⑩ 운송계획 결과] 화면에서 단가 산정 수행
- (5) 산정된 단가를 이용하여 [⑪ 민감도분석] 화면에서 민감도 분석 수행

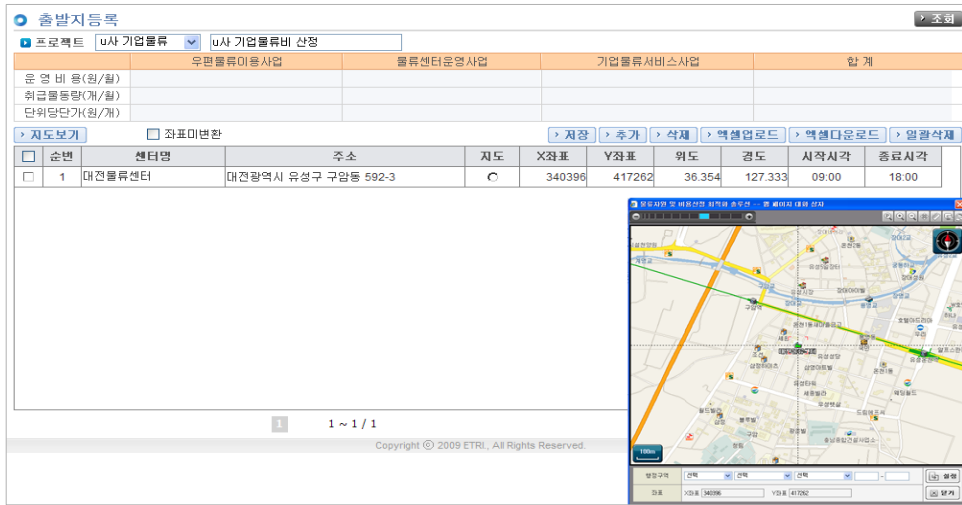


<Figure 6> User Process

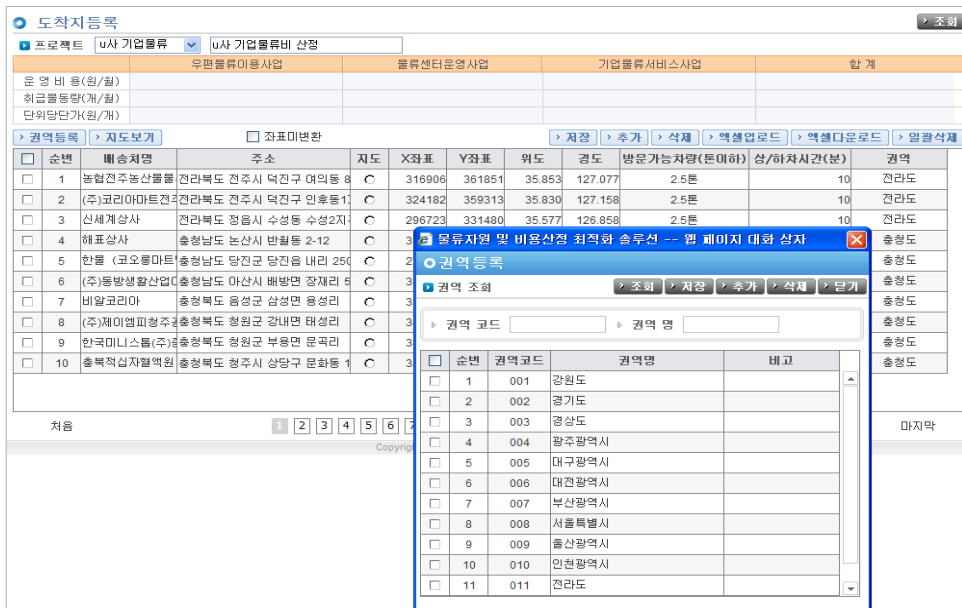
3.2 U사 사례

본 논문에서 개발한 시스템에 U사의 사례를 적용하여 운송비용을 산정하였다. U사는 대전에 물류센터를 운영하고 있으며, 전국 636개의 배달지점을 갖고 있다. 출발지 등록 화면에서는 <Figure 7>에서

보는 바와 같이 대전 물류센터를 출발지로 등록하고 운송서비스 시작시간 및 종료시간을 입력하였다. 도착지 등록 화면에서는 <Figure 8>과 같이 전국 636개의 배송처를 권역을 구분하여 등록하고, 각 배송처별 방문가능 차량유형(톤 이하) 및 상하차시간(분)을 입력하였다.



<Figure 7> Input of Departure Point

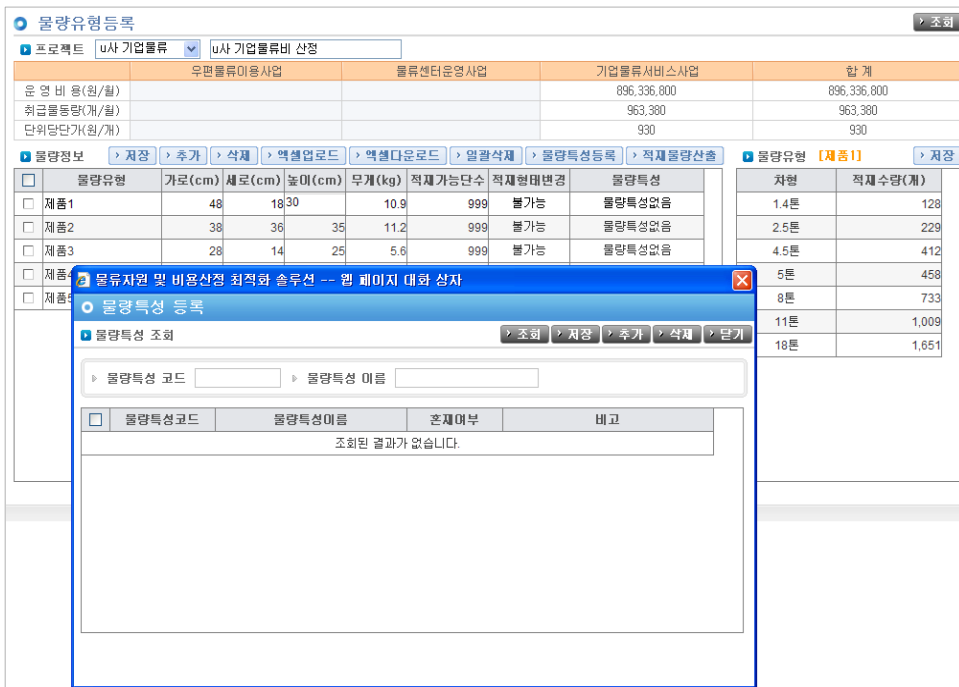


<Figure 8> Input of Destination Point

<Figure 9>는 물량유형을 등록하는 화면을 나타낸다. U사의 경우 약 750여 개의 제품이 있으나 대표적인 5개의 제품 유형을 등록하는 것으로 하였다. 각 물량유형별 적재가능단수(위로 최대 적재 가능한 박스 수), 적재 형태변경여부(가로 또는 세로를 높이로 해서 적재할 수 있는지 여부), 물량특성(한 차량에 물량을 혼재하여 적재할 수 있는지 여부)을 입력한 후 적재물량산출 버튼을 클릭 시 이들 요소를 고려하여 적재물량 산출 알고리즘에 따라 차량별 최대 적재 가능한 물량이 산출된다. 참고로 차량의 가로, 세로, 높이 및 적재가능무게는 사전에 관리자가 차형/거리별 기본요금 화면에서 입력한 값을 사용한다. 제품 1의 경우 1.4톤 차량에 128개, 2.5톤에 229개, 4.5톤에 412개 등이 적재 가능한 것으로 산출되었다. 23절에서 언급했듯이 운송계획 수립 시 여러 물량유형이 동시에 한 차량에 적재될 경우에는 적재가능 수량을 이용해 각각의 물량이 차량에서 차지하는 비율을 계산하고 이를 더하여 차량 적재가능여부를 판단하였다.

<Figure 10>은 각 배송처별 물량을 등록하는 화면을 나타내며, 물량유형별 운송물량 개수 및 운송 가능시간을 입력한다.

<Figure 11>은 운송계획 수립을 위한 파라미터를 입력하는 화면을 나타낸다. 월 운행일수, 운송회사, 운송형태(직송 또는 경유 운송), C/D 포함여부, 최대 경유지 수, 최대 운행시간 및 운행거리를 입력한다. 운송계획 수립 버튼을 클릭하면 <Figure 12>와 같이 U사의 기업물류 운송비용을 산정한 최종 결과가 나타난다. U사의 물량을 운송하는데 1.4톤 9대 및 2.5톤 155대를 이용하여 총 164개의 경로가 생성되었으며, 차량운송비, 추가업무비, 간접비를 포함한 총 월간 운영비용은 896,336,800원이 산출되었다. 추가업무비 및 간접비는 별도의 창에서 사용자가 직접 입력한다. 산출된 월간 운영비용을 월간 취급 물동량인 963,380개로 나누어 최종적으로 물량단위당 단가 930원이 산출되었다. 경로보기 선택 시에는 해당 경로의 경유지를 지도상에 보여주며 각 방문지별 방문시간 및 이동거리 정보가 제공된다.



<Figure 9> Input of Product Type

물량등록 > 조회

프로젝트: u사 기업물류 | u사 기업물류비 산정

	우편물류이용사업	물류센터운영사업	기업물류서비스사업	합계
운영비액(원/월)				
취급통장(개/월)				
단위당단가(원/개)				

물량정보 > 저장 > 추가 > 삭제 > 엑셀업로드 > 엑셀다운로드 > 밀괄삭제

<input type="checkbox"/>	센터	배송처	물량유형	운송물량(개)	시작시각	종료시각
<input type="checkbox"/>	대전물류센터	주최유통	제품1	82	09:00	18:00
<input type="checkbox"/>	대전물류센터	대신유통	제품1	58	09:00	18:00
<input type="checkbox"/>	대전물류센터	(주)바이더웨이경인물류센	제품1	51	09:00	18:00
<input type="checkbox"/>	대전물류센터	조이씨연씨	제품1	67	09:00	18:00
<input type="checkbox"/>	대전물류센터	한물 (마홀렛안산)	제품1	26	09:00	18:00
<input type="checkbox"/>	대전물류센터	신안산업	제품1	11	09:00	18:00
<input type="checkbox"/>	대전물류센터	한국수출포장공업안성	제품1	16	09:00	18:00
<input type="checkbox"/>	대전물류센터	뉴코아팜훈백화점	제품1	23	09:00	18:00
<input type="checkbox"/>	대전물류센터	(주)세시대채인	제품1	21	09:00	18:00
<input type="checkbox"/>	대전물류센터	부성산업주식회사	제품1	22	09:00	18:00

처음 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | 1 ~ 10 / 636 | 마지막

<Figure 10> Input of Product Quantity of Each Destination Point

운송계획수립 > 조회

프로젝트: u사 기업물류 | u사 기업물류비 산정

	우편물류이용사업	물류센터운영사업	기업물류서비스사업	합계
운영비액(원/월)				
취급통장(개/월)				
단위당단가(원/개)				

기본정보입력 > 저장 > 운송계획수립

파라미터설정

월 운행일수: 20

운송회사: 진흥회 1인합송시정기편

운송형태: 경유운송

C/D 포함여부: 미포함

최대경유지수: 999

최대운행시간(시간): 999

최대운행거리(km): 999

비고:

<Figure 11> Input of Parameters for Route Planning

운송계획결과 > 조회

프로젝트: u사 기업물류 | u사 기업물류비 산정

	우편물류이용사업	물류센터운영사업	기업물류서비스사업	합계
운영비액(원/월)			896,336,900	896,336,900
취급통장(개/월)			993,300	993,300
단위당단가(원/개)			930	930

경로세정보 > 경로보기 > 요약정보

경로	차량유형(톤)	차량대수(대수)	운송배량(톤)	운송거리(km)	운송물량(개)	차도
1	1.4톤	1	280.577	585.7	94	C
2	1.4톤	1	302.307	678.9	183	C
3	1.4톤	1	258.850	492.3	172	C
4	2.5톤	1	215.387	249.2	229	C
5	2.5톤	1	273.866	386.6	326	C
6	2.5톤	1	224.729	275.2	480	C
7	2.5톤	1	232.164	293.7	160	C
8	2.5톤	1	215.367	249.0	480	C
9	2.5톤	1	240.695	319.2	160	C
10	2.5톤	1	249.119	337.5	160	C
총계		164	42,696,840	60,178	48,169	

요약정보

차량유형(톤): 1.4톤 (94), 2.5톤 (155)

보유차량: 0

임시차량: 0

총량: 164

비율정보 > 추가입력무배선형 > 권장배선형 > 내회선형

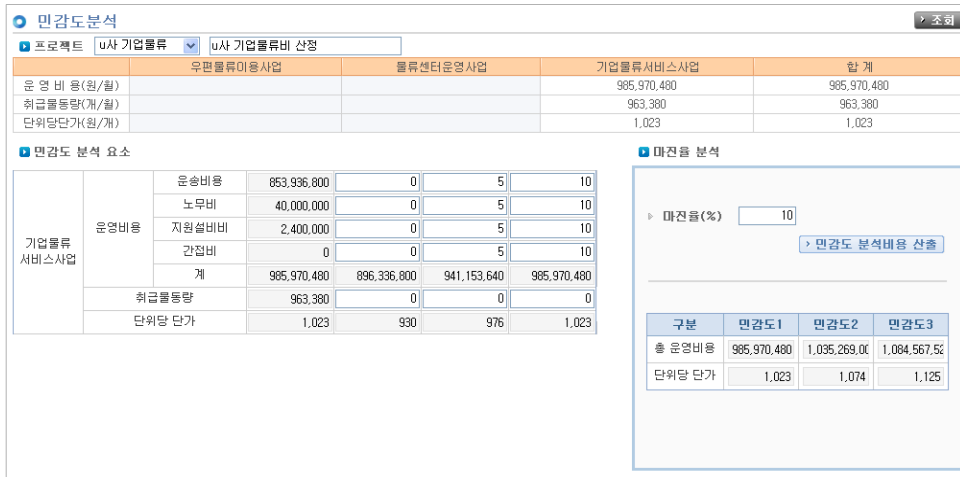
입력명	내용	적용
차량운송비(월)	893,936,000	<input checked="" type="checkbox"/>
추가입력비-능량비(월)	40,000,000	<input checked="" type="checkbox"/>
추가입력비-기성배량비(월)	2,400,000	<input checked="" type="checkbox"/>
간접비(월)	0	<input type="checkbox"/>

대안율(%): 0 | 확인

월 운행일수: 20 | 총 배량(톤): 896,336,900

운송계획도: (Map showing route planning on a city map with various colored lines and markers.)

<Figure 12> Result of Route Planning



<Figure 13> Sensibility Analysis

<Figure 13>은 원가 항목 변동률에 따른 민감도 분석 화면을 나타낸다. 운영비용 및 물동량에 대한 변동률 및 마진을 입력 후 민감도 분석비용 산출 버튼 클릭 시 총 운영비용 및 단위당 단가가 산출된다. 예를 들어 변동률을 적용하지 않을 경우 단위당 단가는 930원이며, 여기에 마진율 10% 적용 시 총 운영비용이 10% 증가하여 단위당 단가가 1,023원으로 증가한다. 만약 운영비용에 5% 변동률을 적용할 경우 운영비용은 5% 증가하며, 여기에 마진율 10% 적용 시 운영비용이 다시 10% 증가하여 단위당 단가는 1,074원이 된다. 3PL 업체는 개당 단가 930원을 기준으로 변동률 및 마진율을 이용한 민감도 분석을 통해 최종 단위당 단가를 도출하고 이를 U사에 제안하게 된다.

4. 결 론

본 논문에서는 3PL 업체가 신규 기업물류 서비스에 대한 운송계획을 수립하여 서비스 단가를 산정할 수 있는 기업물류 운송비용 산정 알고리즘이 적용된 의사결정 지원시스템을 개발하였다. 개발한 시스템에는 직송, 경유 운송, C/D의 기업물류 운송형태에 대해 운송계획 수립을 할 수 있는 알고리즘 및 서로 다른 부피를 가진 화물을 차량에 적재 시 적재가능 여부를 판단하는 적재물량 산출 알고리즘을 탑재하

였다. 또한, 본 시스템에 U사의 사례를 적용한 결과 서비스 단가를 산정하는데 무리가 없음을 확인하였다. 이에 본 시스템은 3PL 업체가 신규 사업 추진 시 필요한 사업 단가 제안에 활용되어 신규 사업 추진에 따른 의사결정 지원도구로 활용할 수 있다.

다만, 본 시스템은 존재하는 모든 운송유형과 제약사항을 반영하지 못하고 일부 한정적인 운송유형 및 제약사항만을 고려하고 있어 각 기업의 현실적인 물류 환경을 반영하기에는 다소 한계점이 존재한다.

참 고 문 헌

- [1] 강성진, 박진우, “물류비용 추정 모델에 관한 연구-군 물류 적용 중심으로”, 『한국경영과학회 추계학술대회논문집』, (2005), pp.85-100.
- [2] 김중순, 안봉근, 손달호, “동적계획모형을 이용한 근무형태 결정”, 『경영과학』, 제20권, 제2호 (2003), pp.33-44.
- [3] 박양병, “Stochastic 환경에서 확정적 차량경로 결정 해법들의 성능평가”, 『경영과학』, 제17권, 제2호(2000), pp.175-187.
- [4] 이명철, “공급사슬 환경에서의 물류비용 산출에 관한 연구”, 석사학위논문, 2003.
- [5] 이상헌, 이정민, “타부서치를 이용한 2차원 직

- 사각 적재문제에 관한 연구”, 『경영과학』, 제22권, 제1호(2005), pp.167-178.
- [6] 이유세, “물류진단영업시 간이물류비 산정방안 : 화주기업 3PL 영업수주를 중심으로”, 석사학위논문, 2011.
- [7] 이재준, 박영재, 정태원, “시물레이션을 활용한 신 물류체계 구축과 물류센터 규모 산정에 관한 연구”, 『한국경영과학회/대한산업공학회 춘계 공동학술대회논문집』, (2005), pp.93-99.
- [8] 이 정, 정석재, 김경섭, “기업 물류비용의 실증적 분석을 통한 공급사슬 전략의 도입 효과분석”, 『경영과학』, 제25권, 제2호(2008), pp.89-109.
- [9] 조중현, “물류비 절감 및 현실화방안을 위한 TMS 및 시물레이션 활용”, 석사학위논문, 2005.
- [10] 최정록, 김각규, 이상현, “하이브리드 ACS 알고리즘을 이용한 군 비행단 제설작전 방법연구”, 『경영과학』, 제30권, 제2호(2013), pp.31-42.
- [11] 한국무역협회, “2014년 3PL 및 물류공동화 활용 실태조사”, 2014.
- [12] Bischoff, E.E. and M.D. Marriott, “A comparative evaluation of heuristics for container loading,” *European Journal of Operational Research*, Vol.44, No.2(1990), pp.267-276.
- [13] Campbell, A.M. and M. Savelsbergh, “Efficient Insertion Heuristics for Vehicle Routing and Scheduling Problems,” *Transportation Science*, Vol.38, No.3(2004), pp.369-378.
- [14] Clarke, G. and J.W. Wright, “Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points,” *Operations Research*, Vol.12, No.4(1964), pp.568-581.
- [15] Gehring, H. and A. Bortfeldt, “A genetic algorithm for solving container loading problem,” *International Transactions on Operational Research*, Vol.4, No.5(1997), pp.401-418.
- [16] Gehring, H., K. Menscher, and M. Meyer, “A computer-based heuristic for packing pooled shipment containers,” *European Journal of Operational Research*, Vol.44, No.2(1990), pp.277-288.
- [17] George, J.A. and D.F. Robinson, “A heuristic for packing boxes into a container,” *Computers & Operations Research*, Vol.7, No.3(1980), pp.147-156.
- [18] Gilmore, P.C. and R.E. Gomory, “Multistage cutting stock problems of two and more dimensions,” *Operations Research*, Vol.13, No.1(1965), pp.94-120.
- [19] Osman, I.H., “Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem,” *Annals of Operations Research*, Vol.41, No.1(1993), pp.421-451.
- [20] Solomon, M.M., “Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints,” *Operations Research*, Vol.35, No.2(1987), pp.254-265.
- [21] Toth, P. and D. Vigo, “The Granular Tabu Search and Its Application to the Vehicle-Routing Problem,” *Inform Journal on Computing*, Vol.15, No.4(2003), pp.333-346.