

# 수송경로 문제를 고려한 물류최적화모델의 연구 (A Supply Planning Model based on Inventory-Allocation and Vehicle Routing Problem with Location-Assignment)

황 흥 석, 최 철 훈, 박 태 원  
동의대학교 산업공학과

## Abstract

This study is focussed on optimization problems which require allocating the restricted inventory to demand points and assignment of vehicles to routes in order to deliver goods for demand sites with optimal decision. This study investigated an integrated model using three step step-by-step approach based on relationship that exists between the inventory allocation and vehicle routing with restricted amount of inventory and transportations. we developed several sub-models such as; first, an inventory-allocation model, second a vehicle-routing model based on clustering and a heuristic algorithms, and last a vehicle routing scheduling model, a TSP-solver, based on genetic algorithm. Also, for each sub-models we have developed computer programs and by a sample run it was known that the proposed model to be a very acceptable model for the inventory-allocation and vehicle routing problems.

**Keyword** : Inventory-Allocation, Vehicle Routing Problem, TSP, Logistics

## 1. 서론

제한된 물류재고량으로 최대의 보급효과를 위한 연구는 일반적인 물류시스템 및 문제에 매우 중요한 분야이다. 본 연구는 최적 재고할당 문제 (Inventory-Allocation Problem) 및 최적 운반경로 (Vehicle Routing Problem)를 동시에 고려한 보급 수송문제의 연구이다. 이를 위하여 먼저 보급센터 (Supply Base)의 가용 재고를 수요 지에 적정 배분하기 위하여 최적 재고 할당 문제를 다루고, 각 수요지에 적정 시간 및 비용으로 수송하기 위하여 수요지들을 각 수송계획에 할당하는 모델(Location assignment/Vehicle Routing Problem)을 개발하였다. 또한 각 수송계획에서 최적 수송경로를 위하여 유전자알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용한 최적 수송경로결정모델(TSP-Solver)을 개발하여 사용하였다[3]. 본 연구의 최종 출력으로 운송거리, 운송시간을 고려하여 제한된 보급재고량을 수요자에게 최적 배분하고, 각 수요지에 수송을 위한 수송 수단의 할당 및 최적 수송경로를 산출하여 종합 물류계획

을 수립하는 모델을 개발하였다. 이를 위한 전산 프로그램을 개발하고 예제를 통하여 본 모델의 응용 결과를 보였다. 물류시스템은 일반적으로 원재료, 재공품 및 완제품의 효과적인 흐름을 위하여 계획하고 통제하는 것이 그 목적이며, 이에 관련된 원활한 정보시스템을 구축하는 것이다. 본 연구는 다 단계 물류시스템에서 물류센터에서의 제한된 재고량을 최적 할당하는 문제와 최적운송을 위하여 운반장비를 할당하고 각 할당된 물류량을 수요지에 운송하기 위한 차량경로모델들을 단계적으로 접근하였다. 본 연구에서는 제한된 재고를 가지는 물류센터에서 N개의 수요지에 M개의 운반 Team으로 운송하는 최적물류계획 모델을 그림 1

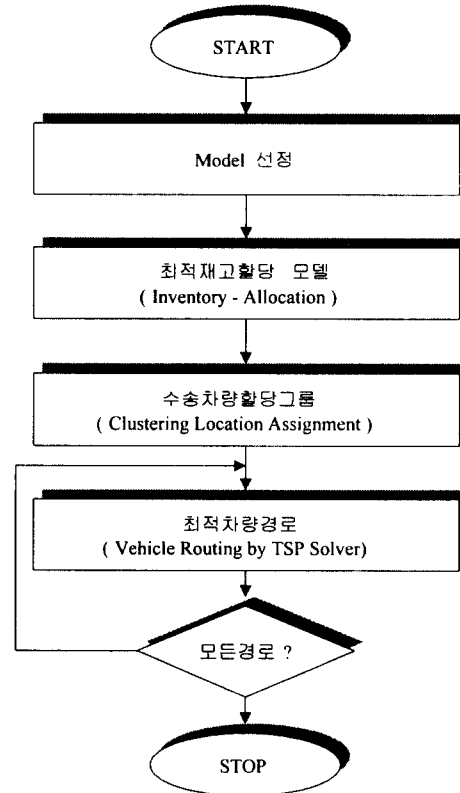


그림 1. 물류계획모델의 구성도

과 같은 단계적인 접근방법을 사용하여 개발하였다.  
- 물류센터의 재고 및 수요지의 수요량을 고

- 려한 최적 운송량의 산정
- 운반장비의 능력 및 기타 조건을 고려하여 운반장비의 할당
- 최적 운송경로의 결정

## 2. 최적 운송경로/보급모델

수송경로를 고려한 최적 물류계획모델로서, 재고할당모델, 수송차량할당모델, 및 운송차량의 최적경로모델들을 정식화하고 이의 해를 위한 방법을 제안하였다. 본 모델에서 고려한 주요 가정사항은 다음과 같다:

- 각 수요지의 수요량은 확률분포로 주어진다.
- 각 수요지에 운반되는 item은 동일한 것을 가정
- 각 운송차량은 같은 수송능력을 가진다.

### 2.1 최적재고 할당모델

물류재고 할당을 위하여 기대효과(Expected Revenue)가 최대가 되도록 제한된 재고량을 수요지의 평균 수요량 및 운송, 보급 능력을 고려하여 할당하기 위하여 다음과 같이 수리모델로 정식화하였다.

$$\begin{aligned} & \text{Max } \sum_i r_i \cdot S_i \\ & \text{ST } \sum_i S_i \leq D \\ & S_i \leq \mu_{d_i} \\ & S_i > 0 \end{aligned}$$

표 1. 최적재고할당 문제(예:)

- 총 수요량 = 868
- 물류센터보급가용량 = 768
- 물류센터좌표(x(0),y(0))=(24,75)

위치 번호	x(i)	y(i)	수요 량	물류 효과	할당량 (운송량)	물류 효과
물류센터	24	75	0		물류센터	
1	23	25	66	0.6	63	0.6
2	74	24	17	0.9	17	0.9
3	23	17	26	0.8	26	0.8
4	33	30	27	0.5	14	0.5
5	23	66	23	0.9	23	0.9
6	36	47	69	0.6	69	0.6
7	65	29	25	0.5	12	0.5
8	62	21	16	0.7	16	0.7
9	26	86	79	0.9	79	0.9
10	39	30	70	0.5	35	0.5
11	35	75	93	0.8	93	0.8
12	19	25	27	0.8	27	0.8
13	85	62	50	0.7	50	0.7
14	57	66	22	0.9	22	0.9
15	83	45	18	0.8	18	0.8
16	46	71	30	0.6	15	0.6
17	72	29	43	0.5	22	0.5
18	62	34	39	0.6	39	0.6
19	32	13	48	0.7	48	0.7
20	39	50	80	0.8	80	0.9
총계			868		768	

20개소의 수요지에 보급하는 물류센터의 제한된 물류량을 할당하는 예를 표 1에서와같이 보였다.

### 2.2 수송경로계획 및 수요지할당 모델

수요지에 운반할 경로(Vehicle Routine)의 설정 및 수요지 할당(Location Assignment) 등의 변수들을 포함하고, 총 운반거리 또는 물류비용의 최소화하도록 또는 물류효과를 최대화하도록 다음과 같이 정식화하였다.

$$\begin{aligned} & \text{Max } \sum_i \sum_j r_{ij} X_{ijk} \\ & \text{ST } \sum_i Y_{ik} = 1 \\ & \sum_j X_{ijk} = Y_{jk} \quad \forall j, k \\ & \sum_j X_{ijk} = Y_{ik} \quad \forall i, k \\ & U_i - U_j + (N+1)X_{ijk} \quad 2 \leq i \neq j \leq N \\ & \sum_{ijk} \mu_{d_i} X_{ijk} = q_u \\ & Y_{ik} = 0 \text{ or } 1 \\ & X_{ijk} = 0 \text{ or } 1 \end{aligned}$$

여기서  $S_i$  : 수요지 i에 운송된 량

$r_i$  : 단위 운송 량의 효과

$\mu_a$  : 평균수요량

D : 물류센터에서의 총 가용량

위의 제한조건은 모든 수요 지에 각각 한번의 Route를 고려하고, 운송차량의 운송능력을 고려하였다.

본 연구에서 수송경로문제로 다음 4가지 특성을 가지는 일반적인 수송경로문제를 고려하였다.

- Nodes
- 수송차량
- 문제의 특성
- 목적함수

본 연구에서는 다음 사항을 가정하고 모든 수송경로는 물류센터에서 출발하여 물류센터를 돌아오는 경로를 설정하였다.

- 각 수요 지는 정확하게 한 개의 수송차량이 수송
- 각 수송차량의 능력은 단일수송경로의 총수요량을 초과하지 않는다.

수송경로의 그룹화(Clustering)를 위하여 본 연구에서는 Gillet 및 Miller[2], Claike와 Wright[5], Williamis[5]이 제시한 발견적 방법을 사용하였다. 이 방법은 물류센터에서 가장 먼 수요지를 가장 가까운 후보지와 연결하여 한 경로상의 수요량이 차량의 운송능력을 초과하지 않는 범위에서 경로계획을 한다. 또한 농수산물일 경우 진부화되는 기간 등을 고려하여 각 운송경로상에서 소요되는 총 시간, TRT은 각 제품의 수명, UT을 초과하지 않도록 하였다.

$$\text{TRT} - \min(t_{ij}) \leq \text{UT}$$

수송경로계획을 위하여 Williams Priority Search Algorithm[35] 및 Millers Sweep Algorithm[13]에 의하여 다음과 같은 수식을 사용하였다.

$$L_i = f(t_i, \theta_i, \theta_j)$$

$$L_i = t_i + \mu_i * (\sigma * |\theta_i - \theta_j|)^{-1}$$

$t_i$  : 물류센터에서 수요지 i까지의 운반시간

$\mu$  : 평균 운반시간(수요지간의 시간 평균)

j : 수요지 i가 수송경로의 후보일 경우의 도착 수요지

o : 파라메타

여기서 L(i)의 함수 값이 최대가 되는 후보 지를 수송경로에 포함하고, 이 경우 운송시간의 누계 값이 제한 값을 넘지 않도록 고려한다.

$$\text{sum} = \text{sum} + (t_{ji} + t_{jo}) - t_{jo}$$

위의 개념에 따른 경로계획절차 (Steps for Cluster Method)를 다음과 같이 요약하면 다음과 같다.

- 위치 및 거리 Matrix Data 준비 및 운송시간 및 제품가용기간에 따른 우선순위 결정
- 초기 Link 결정 :  
할당되지 않는 후보 지까지의 최장시간(거리)지점 선택(운송차량의 능력제한 범위 내)
- 운송시간(거리) 자료로부터 위의 점에서 가장 짧은 그 지점을 선택하여 다음 후보지로 선택하여 L값을 개선하고 L값이 최대가 되는 점을 선택한다. 가용지점이 없으며 다음 단계로 시행한다.
- 각 Link의 끝 지점에서 위의 과정을 되풀이하여 가용후보지가 없을 경우 끝인다.

이 과정을 다음 그림 2와 같이 경로계획 흐름도를 표시하였다.

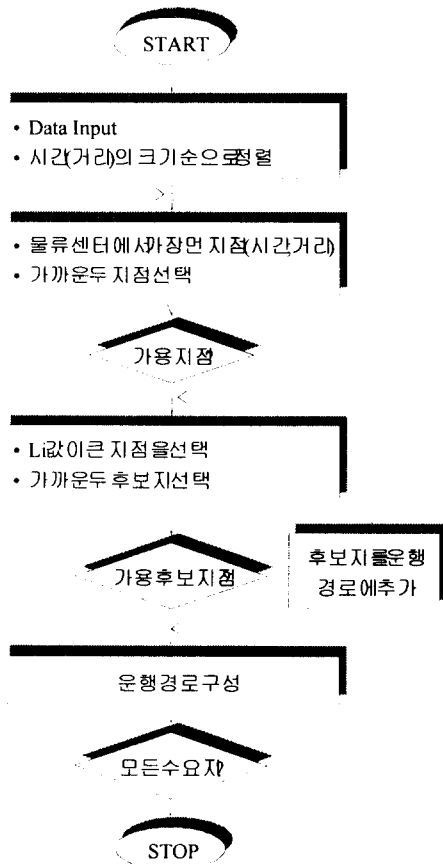


그림 2. 경로계획모델의 흐름도

### 3. 유전알고리즘을 이용한 최적경로선정 모델

GA(Genetic Algorithm)을 TSP문제에 적용시키려는 노력은 여러논문에서 찾아볼 수있다.[4]

GA는 가능해의 집단(Population)에서 Mutation, Crossover, 및 Selection등의 연산자를 사용하여 최적해를 구하며 표준형 Mutation 및 Crossover연산자는 TSP문제에 바로 적용시에 부분 최적 해를 얻게되어 적절치 못함을 지적한 연구 결과가 발표되었다[4]. 본 연구에서는 이를 보완하기 위하여 Heuristic방법과 GA를 연결한 방법을 사용한 수정된 GA연산자를 사용하였다. TSP-Solver에서는 Crossover 연산자에서 기존의 Grefensttete의 Crossover연산자를 수정 인용하였으며, 부분 해를 얻었을 경우 특수한 알고리즘으로 Population의 Individual 개수를 수정하여 부분 해를 얻는 경우를 제거하는데 중점을 두었다( Oliver'30) 이를위하여 본 연구에서는 TSP-Solver를 개발하여 사용하였으며, 2항의 표 2와 같이 물류센터에서 20개의 수요지에 1개의 Route를 고려할 경우 본 연구에서 개발한 TSP-Solver로 최적경로를 구한 결과를 그림 3과 같이 요약하였다.

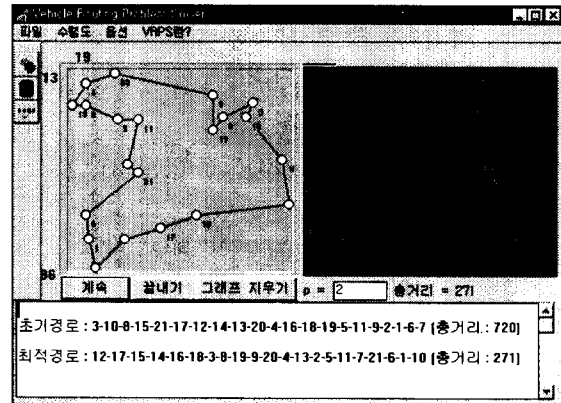


그림 3. 최적경로산정예:(TSP-Solver의 Sample Run)

위의 결과를 보면 초기(Random Route) Route의 경우 총 운송거리가 720Km인 반면 최적해의 경우 271로 주어졌으며 매우 효과적임을 볼 수있다.

### 4. 모델의 응용

부산 수산물센터에서 부산 및 경남지역의 수요자 20개소에 매일 수집되는 수산물을 신선도가 떨어지기 전에 운송하기 위한 운송경로 계획문제에 적용하였다. 운송거리는 도심지 및 교외지역을 동시에 고려하기 위하여 Lp-Distance를 고려하였으며 각 수요지의 수요량, 거리 및 시간 자료는 표 1로부터 산출하여 사용하였다.

#### 4.1 최적운송량결정

총수요량 878톤중 물류센터에서 일일 수송 가능한 량 768톤을 최적재고 할당모델에 의하여 적정 배분

한 결과가 표 1의 할당량(운송량)과 같으며, 약 100톤의 수요에 대한 부족량을 고려하여 물류효과가 최대가 되도록 각 수요지에 가능한량 768톤을 할당하였다.

#### 4.2 운송차량 할당 및 최적 수송경로 선정

운송차량의 1회 운송능력을 250으로 하고 20개소의 수요지를 2항의 운송차량 및 수요지 할당모델(Clustering and Location Assignment Model)에 의하여 다음 그림 4와 같이 직각거리(p=1) 및 직선거리(p=2)의 경우 Routing계획을 구하였으며 표 2 및 3과 같이 요약하였다.

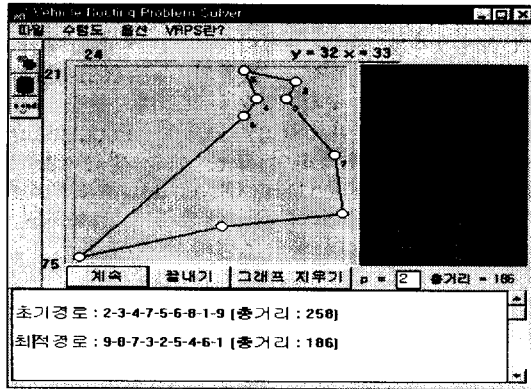


그림 4. 부분 운송경로의 최적 경로계획 예:  
(직선거리의 경우, p=2)

표 2. Routing 계획(Sample Run)

크리스터구성	p값	그룹	경로할당	운반량	총운반량
					768
직각거리	p=1	그룹-1	2-17-7-8-18-15-13-14	190	768
		그룹-2	19-3-12-1-10-4	234	
		그룹-3	20-6-5-9	231	
		그룹-4	16-11	113	
직선거리	p=2	그룹-1	2-7-17-8-18-10-1	241	768
		그룹-2	15-13-14-16-11-5	206	
		그룹-3	19-3-12-4-6-20-9	321	

표 3. 최적경로 선정(TSP-Solver Sample Run)

최적경로	p값	RT	최적 경로	총이동거리	운반량	총운반량
						768
직각거리	p=1	RT#1	0-14-13-15-17-2-8-7-18-0	186	190	768
		RT#2	0-12-1-3-19-10-4-0	139	234	
		RT#3	0-9-20-6-5-0	85	231	
		RT#4	0-16-11-0	45	113	
직선거리	p=2	RT#1	0-18-7-17-2-8-10-1-0	178	241	768
		RT#2	0-11-16-14-13-15-5-0	153	206	
		RT#3	0-12-3-19-4-6-20-9-0	156	321	

#### 4.3 모델의 응용 결과

본 모델은 먼저 제한된 물류재고량을 물류효과가

최대가 되도록 각 수요지에 최적배분 및 운송하는 3단계에 따른 물류운송계획문제의 최적해를 위한 문제를 다루었다. 1) 최적운송량 결정모델을 통하여 20개소의 수요지의 총 수요량 868톤이며 물류재고의 가용량 768톤을 물류효과가 최대가 되도록 적정 배분하였으며, 2) 운송차량 Routing계획을 위하여, 운송차량의 수송능력, 운송거리, 및 운송시간 등을 고려하여 Clustering 알고리즘을 활용하여 운송계획(Routing Group)을 안정하였으며 일반적으로 도심지의 직각거리(p=1)의 경우가 직선거리의 경우(p=2)보다 Routing 회수가 큰 결과를 얻을 수 있었다. 3) 끝으로 각 Routing에서 최적 경로계획(최단 시간 또는 최단거리)을 구하기 위하여 유전자알고리즘(GA)을 이용한 TSP-Solver를 개발하여 사용하였으며, 본 예제에 응용결과 임의로 경로를 선택할 경우보다 총 운송거리 및 시간이 매우 적은 계획을 수립할 수 있었다(720시간을 271시간으로 단축된 계획)

## 5. 결론

본 연구는 최적 재고할당 문제(Inventory Allocation Problem) 및 최적 운반경로(Vehicle Routing Problem)를 동시에 고려한 물류계획모델의 연구이다. 최적 물류재고 할당문제를 위하여 물류효과가 최대가 되도록 수리모델링을하였으며, 수송 경로계획을 위하여, Clustering 알고리즘을 이용한 Routing 계획을 수립하고, 각 경로(Routing)마다 운송시간 및 거리를 최소화하기 위하여 유전자알고리즘을 이용한 최적 경로순서를 결정하는 TSP-Solver를 개발하여 사용하였다. 본 연구에서 제시된 모델을 수산물류 문제에 응용하고 그 결과를 보였으며 매우 유용한 결과를 얻을 수 있었다. 추후 연구과제로, 북한지역의 식량 공급을 위한 수송보급 문제에 적용 가능하리라 생각된다. 지역내의 제한된 식량으로 아사자 및 식량 고갈에 따른 고통을 최소화하는 수송보급 계획수립에 유용하게 응용할 수 있으리라 본다.

## 참고문헌

1. Fisher, M., A. Greenfield, R. Jaikumar, "A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing," Networks Vol.11(1981), pp.109~124.
2. Gillet, B.E. and L.R. Miller, "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatching Problem." J. Operations Research, Vol.22, No.4(1974), pp.340~349.
3. Mark, H.N., "The Traveling Salesman Problem - a Review of Theory and Current Research." Working Paper(1997), pp.1~26.
4. V.M. Kureichick, A.N. Melikhov, "Some New Features in Genetic Solution of the Traveling Salesman Problem." Proceedings of ACEEDC'96(1996) pp.1~6.
5. Williams, B.W., "Vehicle Scheduling: Proximity Priority Search," J. Operational Research, Vol. 33(1981), pp.561~.