

서비스수준을 고려한 GIS기반의 차량 운송시스템 Design of a GIS-Based Distribution System with Service Consideration

황 홍석*, 조 규성

* 동의대학교 산업 공학과

Tel : 890-1657, Fax : 890-1619,

E-Mail : hshwang@hyomin.donggeui.ac.kr

Abstract

본 연구는 생산-운송시스템에서 수요자와 생산시설 및 운송네트워크이 주어질 경우 최소의 비용으로 고객을 지원할 수 있는 시스템의 결정을 위한 GIS(Geographic Information System) 기반의 차량 운송시스템의 연구이다. 주요 결정 변수는 생산공장의 위치, 운송네트워크, 운영할 창고 및 재고유지수준 등이 포함된다. 본 연구에서는 다-품목 생산 및 공급문제를 비 선형문제로 정식화하고 이를 선형문제로 변환하여 정수계획문제(IP)로 해를 구하였다. 이를 위한 전산 프로그램을 개발하고 예제들을 응용하고 그 결과를 보였다.

Keyword : Distribution System Design, Integrated Logistics System Design, GIS

1. 개요

본 연구는 생산공장, 중간 물류센터 및 수요자로 구성되는 3 단계 물류시스템에서 목표 서비스 수준으로 지원하기 위한 통합물류계획모델의 연구로서 다음과 같이 다-단계(본 연구에서는 3-단계)에 따라 하나의 통합모델로 개발하였으며 사용자를 위하여 시각화 전산프로그램을 개발하여 시험 적용하였다. 다-단계 물류센터의 구조를 그림 1과 같이 표시하였다.

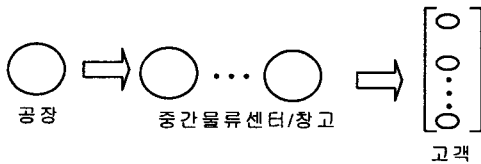


그림 1. 다 단계 물류시스템

본 연구에 포함된 주요 연구범위로 다음 내용들이 포함된다 :

- 가능한 물류센터의 후보 지가 주어진 조건에서 목표 운송지원수준으로 지원하기 위한 물류센터의 최소의 수와 최적 위치를 산정 하였으며 이를 위하여 Stochastic Set-Covering 방법을 사용한 모델을 개발하고 이를 시각화 전산프로그램을 개발하여 구현하였다.
- 각 물류센터에서 담당할 수요 지들의 총 서비스시간(또는 비용)이 최소가 되도록 각 물류센터 별 최적 지원 영역을 할당하였다. 또한 이를 위하여

영역할당 알고리즘(Sector Clustering Algorithm)을 개발하였다.

- 각 물류센터에서 최적 지원을 위한 차량운송계획을 위하여 GIS기반하의 차량 경로계획(VRP)모델을 개발하였다.

또한 이를 위하여 그림 2와 같은 구조로 사용자시각화 프로그램(GUI-Type Program)을 개발하였으며, 사용자를 위하여 응용과정과 가상 Data를 이용한 응용사례의 Sample 출력을 보였다.

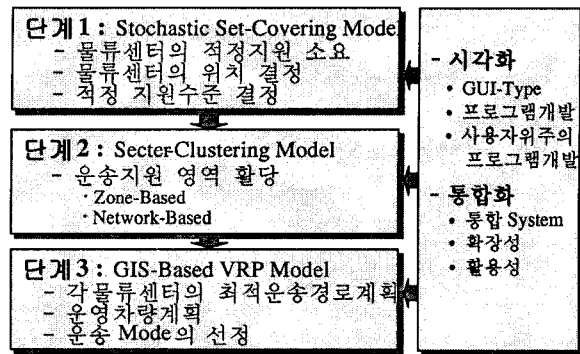


그림 2. 시각화 통합보급지원시스템

2. 물류센터의 최적 배치계획모델

단위 수요자에게 최적 서비스를 제공할 수 있는 중간 물류센터의 위치를 결정하는 문제로서, 다음과 같은 2-단계 물류시스템의 최적 설비배치문제를 위한 모델을 개발하고 예제를 통하여 그 결과를 보였다.

- 2-단계 보급시스템의 구조를 가지는 보급센터의 배치 문제(그림 3참조)

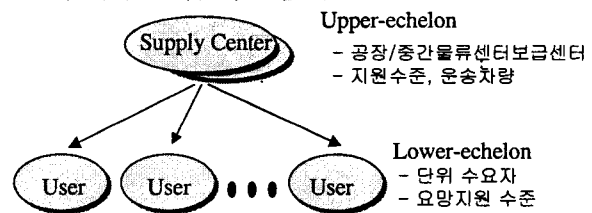


그림 3. 2-단계 물류시스템

- 물류센터의 최적 위치계획을 위한 기준으로 물

류비용(Logistic Cost), 거리 및 운송시간을 고려하였다.

- 확률적인 요소들을 고려한 확률적 모델로 정식화,
- 물류센터 및 수요자간의 거리는 GIS 기반의 거리산정 방법을 개발하여 산출하였다.

2.1 최적배치 모델

본 연구는 일반적인 확정적 설비배치 모델 (Deterministic Set-covering Model)로부터 운송시간 및 서비스 수준과 보급센터의 가용률 등을 확률분포로 주어 질 경우의 일정 수준이 보장되는 최적 물류센터의 위치 선정 문제를 정식화하였으며, 다음과 같이 정식화하였다.

$$\begin{aligned} & \text{Min } \sum_{j=1}^N C_j X_j \\ & \text{ST } \sum_{j=1}^N S_{ij} X_j \geq W_i \\ & X_j = 0 \text{ or } 1 \\ & a_{ij} = 1, \text{ if } \text{Prob}(F_{ij} \leq A_i) \geq r_i \\ & a_{ij} = 0, \text{ otherwise} \\ & 1 - \Pi q_{ij} \geq b_i, \text{ for all } j=1, \dots, M \\ & - \sum_{j=1}^M (\rho_n q_{ij}) \cdot X_j \geq -\rho_n(1-b_i) \end{aligned}$$

여기서, $S_{ij} = -\rho_n q_{ij}$

$$W_i = -\rho_n(1-b_i)$$

위 식은 0-1 Programming의 문제이며 위의 조건을 만족하는 배치대안이 여러 개의 대안이 있을 수 있으므로, 이를 위한 별도의 0-1 programming을 개발하여 최적대안을 구하였다.

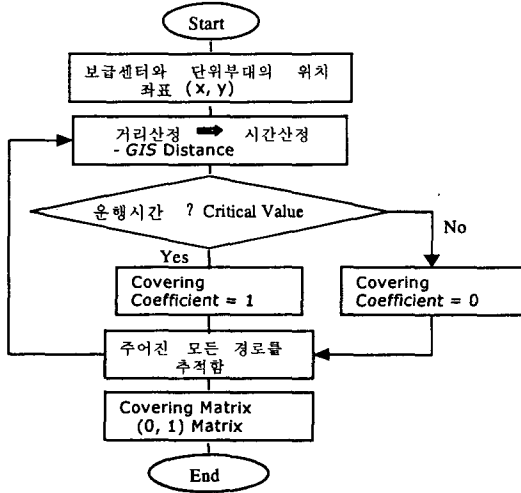


그림 4. Set-Covering 문제의 흐름도

2.2 모델의 응용

중간 물류센터의 최적위치를 구하기 위하여 5 개소의 물류센터와 10 개소의 수요지를 지원하는 지역에서 일정 시간 내에서 서비스가 가능한 최적물류센터의 위치를 결정하는 문제를 본 모델에 적용시켰다. 또한 물류센터의 가능 후보지 위치가 10 개소인 예제로부터 수요자의 요망 서비스수준을 250인 경우의 Cover Matrix를 구한 Sample 출력을 표 1과 같이 요약하였으며 그림 4는 수요가 증가하는 경우 서비스수준에 따라 물류센터의 소요 수량을 표시하고 있다.

표 1. 물류센터의 최적 배치

** INCREASING SUPPLY RATE $\alpha = 0.100$
 ** FOR A CRITICAL VALUE $A_i = 250.0$
 ** NUMBER OF UNIT FORCE = 15
 ** NUMBER OF POSSIBLE SUPPLY CENTERS = 10
 ** MATRIX OF COVER COEFFICIENTS

0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	0	0	1	1	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
1	0	1	0	0	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
0	0	1	0	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	0	0	1

*** $\sum_{j=1}^M X_j = 3, \text{ Alt.} = 18$ ***

3. 물류센터의 지원 영역할당 모델

본 연구에서는 다-물류센터 문제를 해결하기 위하여 단계별 접근방법을 사용하고 있으며, 그 첫 번째 단계인 구역할당모델로서 수요 지와 각 물류센터간의 거리를 계산하여 이를 시간으로 환산하고 시간의 최소화 및 수요 지의 수요량의 합($\sum a_i$)이 물류센터의 공급량을 초과하지 않는 범위 내에서 구역을 할당한다. 구역할당 알고리즘은 각 물류센터에서 가까운 거리에 있는 수요 지를 각 물류센터에 먼저 할당한다는 가정을 두고 있으며, 구역할당을 위한 알고리즘은 다음과 같다. 그림 5는 3 개소의 물류센터 및 34 개의 수요지의 경우 각 물류센터별 영역 할당 한 예를 보이고 있다. 또한 그림 6은 10 개소의 물류센터와 15개소의 수요지의 경우, 특정 물류센터에서 지원 가능한 수요자의 위치를 표시하고 있다.

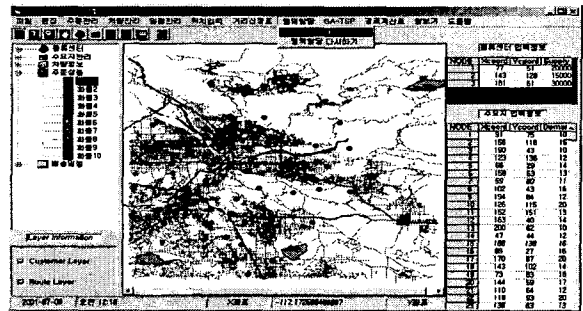


그림 5. 영역할당의 예 :

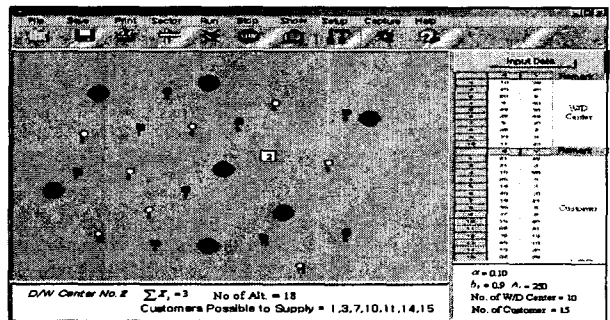


그림 6. 지원 가능한 수요자의 위치 예 :

다음은 4 개의 물류센터와 50개소의 수요지의 경우의 Sample 예제의 결과를 그림 7 및 표 2와 같이 구하였다.

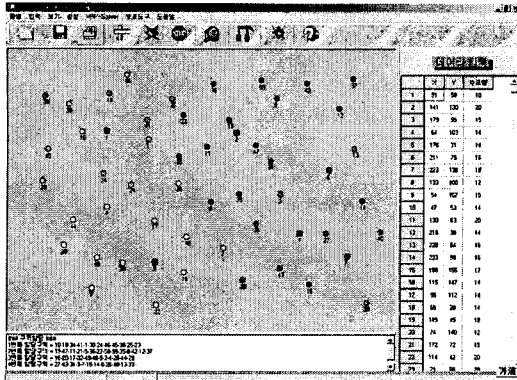


그림 7. 영역할당의 예 2 :
4 개소의 물류센터, 50개소의 수요자의 경우

표 2. Sample Clustering Results :

물류센터	수요자	수요량
물류센터 #1	10-18-34-41-1-30-24-46 -45-38-25-23	207
물류센터 #2	19-47-11-21-5-36-22-50 -39-35-8-42-12-37	249
물류센터 #3	16-20-17-3-49-48-9-2-4 -28-44-29	181
물류센터 #4	27-43-31-3-7-15-14-6-26 -40-13-33	187
계	1 ~ 50	824

4. GIS를 기반으로 한 차량운송계획

4.1 차량운송경로계획모듈(VRP Module)

본 모듈은 단일 물류센터문제의 차량경로계획을 수립하기 위한 모듈로서, 차량 종류별, 차량대수, 운반능력을 고려하고, 차량운행시간제한 및 물류센터의 공급능력을 고려하여 차량경로계획을 구하는 모듈이다. 본 연구에서 고려한 거리산정의 문제는 GIS 환경에서의 Road Data로부터 산정 하였다. 본 연구에서 사용된 차량경로계획을 위한 수리모델은 Golden, B. & Bodin, T.[5]에 의해 제시된 모델을 개선하여 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{v=1}^{NV} C_{ij}^v X_{ij}^v \\
 \text{St.} \quad & \sum_{i=1}^N \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v = 1 \quad (j=2, \dots, N) \\
 & \sum_{j=1}^N \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v = 1 \quad (i=2, \dots, N) \\
 & \sum_{i=1}^N X_{ip}^v - \sum_{j=1}^N X_{pj}^v = 0 \quad (v=1, \dots, NV; p=1, \dots, N) \\
 & \sum_{i=1}^N d_i \left(\sum_{j=1}^N X_{ij}^v \right) \leq DV \quad (v=1, \dots, NV) \\
 & \sum_{j=2}^N X_{ij}^v \leq 1 \quad (v=1, \dots, NV) \\
 & \sum_{i=2}^N X_{ij}^v \leq 1 \quad (v=1, \dots, NV) \\
 & X = [X_{ij}^v] \in S \\
 & X_{ij}^v = 0 \text{ or } 1 \text{ for all } i, j, v
 \end{aligned}$$

여기서,

- N = 수요지점의 수
 - NV = 차량의 수
 - DV = 차량의 적재용량
 - T_0 = 차량별 허용된 최대운행시간
 - D_i = 수요지별 수요량 ($D_0=0$)
 - t_i^v = 수요지별 요구된 도착시간 ($t_0^v=0$)
 - t_{ij}^v = 수요지 i 에서 j 까지 운행하는데 소요되는 시간 ($t_{ii}^v = \infty$)
 - C_{ij}^v = 수요지 i 에서 j 까지 운행하는데 소요되는 비용
- 즉 $X_{ij}^v=1$, 수요지 i , j 가 차량 v 에 의해 운행되었다면 "1" 그렇지 않으면 "0"이다.

Clarke & Wright의 Saving의 알고리즘을 수정한 방법으로, 임의의 두 수요지점이 경유되지 않고 별도의 차량으로 운송될 때에 비하여 한대의 차량에 의해 경유되어 운송될 때의 절감되는 비용의 규모에 따라 절감 값이 큰 수요지점이 우선적으로 경유하도록 수요지점을 할당하는 방법으로 개선하였다.

4.2 차량운송경로계획프로그램

본 연구는 객체 지향적 프로그래밍기법(Object Oriented Programming)을 기반으로 한 다 물류센터의 최적차량운송계획을 위한 프로그램을 개발하고 기존의 알고리즘들보다 GIS 기반의 프로그램으로 보다 현실적인 장점이 있다. 본 프로그램은 사용자가 쉽게 활용할 수 있도록 GUI-Type 프로그래밍 방법을 사용하여 위의 3 단계의 모듈들을 통합한 통합차량경로계획 S/W를 그림 8과 같은 구조로 개발 하였다.

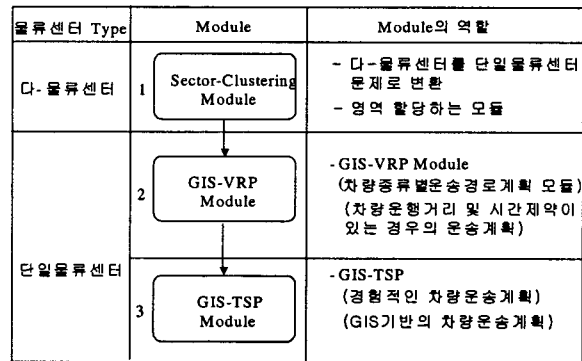


그림 8. GIS기반의 VRP-Solver의 구성도

본 연구에서 개발한 통합 차량경로계획모델은 GIS 기반의 차량운송계획을 위한 통합모델로서 Road Data가 보완 개발될 경우 실무에 크게 활용될 것으로 판단된다. 그림 8과 같이 GIS기반의 통합차량운송계획 프로그램의 구성도를 요약하였다. 본 연구에서 개발한 통합 GIS기반의 차량운송계획을 위한 소프트웨어로서 사용자를 위하여 사용하기 간편한 GUI-Type(Graphic User Interface)프로그래밍방법을 사용하였다.

4.3 GIS기반의 차량운송경로계획모델의 응용

GIS기반의 차량운송계획모델의 응용을 위하여 2항 및 3항에서 구한 2-단계의 물류시스템의 최적설비위치 및 소요 설비의 수를 구한 예제와 3항에서 구한

영역할당계획의 결과로부터 GIS기반에서 최적 차량운송계획을 구하는 예를 들어 보였으며 또한 GIS기반 하에서 차량의 위치정보 및 운송화물정보를 본예제를 통하여 구현하여 보였다. GIS기반의 차량운송계획 예제의 주요 출력 Sample을 다음 그림과 같이 보였다.

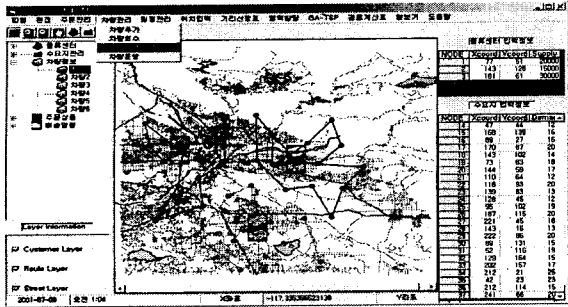


그림9. 물류센터별 차량배치 화면

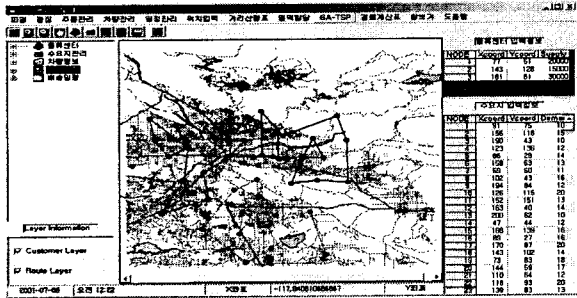


그림 10. GIS-VRP의 출력 Sample

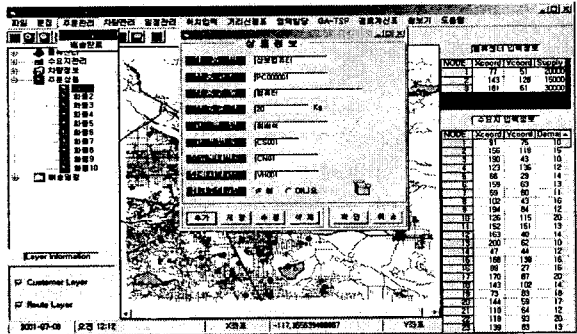


그림 11. 화물정보 데이터화면

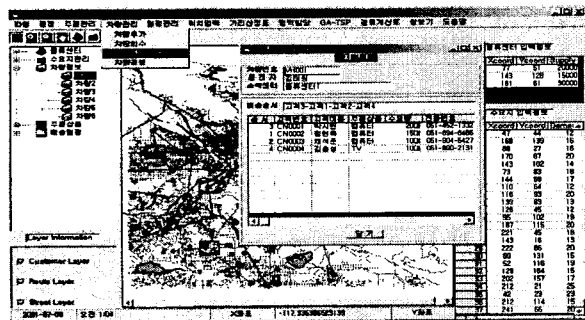


그림 12. 차량운행 및 위치정보 화면

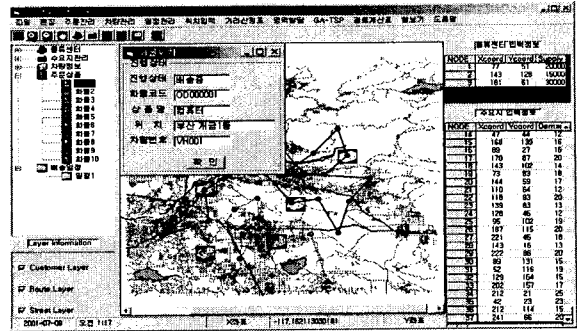


그림 13. 고객의 화물정보

5. 결론

본 연구에서는 GIS기반 하에서 고객의 서비스 수준을 고려한 차량운송계획을 위한 통합차량운송계획모형을 개발하고 이를 위한 GUI-type 진산프로그램을 개발하고 실 예를 들어 보였다. 최소비용으로 고객이 요망하는 서비스 수준으로 운송하기 위하여 Stochastic Set-Covering문제로 정식화하고 이의 해를 구하는 프로그램을 개발하였다. 또한 GIS기반의 경로계획(GIS-VRP)을 위한 프로그램을 개발하고 Sample 예제를 통하여 물류센터의 최적 소요 및 위치 결정과 차량의 종류별 차량운송경로계획과 운송하는데 소요되는 시간 및 적재된 차량의 용량을 고려하여 최적 운송계획을 쉽게 구할 수 있게 하였다. 또한 운송차량의 위치정보와 고객을 위하여 화물운송추적 정보를 조회하여 볼 수 있게 하였다. 기존에 개발된 프로그램들과 본 알고리즘과 비교 검토하기 위하여 계속 연구할 예정이다.

참고 문헌

- [1] Achim Bachem et al, "An efficient parallel cluster-heuristic for large Traveling Salesman Problems" Universitat zu Koln ,1994.
- [2] J. E. Beasley & N. Christofides "Vehicle Routing with a Sparse Feasibility Graph", E.J.O.R., vol 98. pp499~511, 1997.
- [3] Francis, R. L., And J. A. White, Facility Layout And Location : An Analytical Approach, Prentice-Hall, Inc., 1996.
- [4] Golden, B., I. Bodin, T. Doyle, and W. Stewart Jr., "Approximate Traveling Salesman Algorithm," Operations Research, Vol., 28, pp. 694-711, 1980.
- [5] Grefenstette J et al, "Genetic algorithm for the traveling salesman problem", Proc. Int. Conf. of Genetic algorithm and their applications, pp. 160-165, 1995.
- [7] Sam R., H. Osman., Tong Sun., "Algorithms for the Vehicle Routing Problems with Time Deadlines ", American J. of Math. & Manag. Sci., 13(3&4), p323~355, 1994.

* 본 연구는 동의대학교 물류시스템연구실의 2001 연도 지원 연구비로(2001년도 이공계연구소기 자체현대화 사업) 연구 되었음.