

GIS기반의 실시간 통합화물운송시스템 계획에 관한 연구*

황흥석** · 김호균** · 조규성***

A Study on a Real Time Freight Delivery Planning for Supply Center based on GIS*

Heung-Suk Hwang** · Ho-Gyun Kim** · Gyu-Sung Cho***

■ Abstract ■

According to the fast-paced environment of information technology and improving customer services, the design activities of logistics systems improve customer centric services and delivery performance implementing e-logistics system. The fundamental design issues that arise in the delivery system planning are optimizing the system with minimum cost and maximum throughput and service level. This study is concerned with the integrated model development of delivery system with customer responsive service level for DCM, Demand Chain Management. We used a two-step approach for this study. First, we formulated the supply center facility planning using stochastic set-covering problem and assigned the customers to the supply center using clustering algorithm. Second, we developed vehicle delivery planning for a supply center based on GIS, GIS-VRP. Also we developed a GUI-type computer program for proposed method for supply center problem using GIS and Geo-DataBase of Busan area. The computational results showed that the proposed method was very effective on a set of test problems.

Keyword : Integrated Facility Design, SCM, GIS-Based Delivery Planning, e-Logistics

1. 개 요

물류센터(supply center) 설비계획문제는 물류

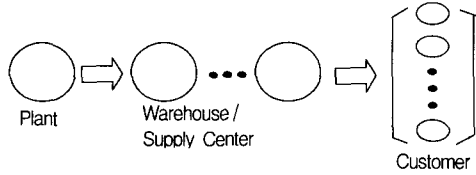
센터에서 취급되는 화물의 수요, 특성 및 물류센터의 위치선정문제(location problem)와 선정된 위치에서 적정 설비를 구성(선정)하고 이를 통해

논문접수일 : 2002년 9월 6일 논문게재확정일 : 2002년 11월 5일

* 본 연구는 2002년도 부산테크노사업단의 연구비 지원(BTP-BDE-03)으로 수행되었음.

** 동의대학교 산업공학과

*** 동의대학교 대학원 산업공학과



〈그림 1〉 다단계 물류시스템구조

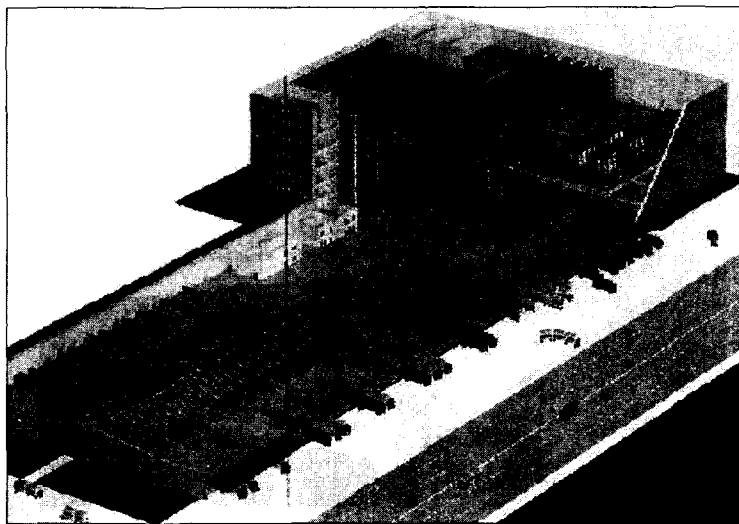
설비의 적정 배치(layout problem) 및 이들 물류 서비스 시스템의 적정운영에 관한 문제로 요약 할 수 있다[2, 3, 6, 8, 9]. 물류센터 및 물류시스템의 계획과 차량운송 경로계획문제는 일반적으로 〈그림 1〉과 같이 제품의 제조 공장으로부터 중간 저장 창고 및 물류센터에서 수요지로 운송되는 과정을 포함하는 통합시스템을 고려한다. 이를 위하여 먼저 물류센터의 위치 결정문제는 가능한 물류센터의 후보 위치에서 요망되는 물류 서비스 수준을 충족시키기 위한 적정 수의 물류센터 위치문제와 적정 운송량의 할당 및 운송 계획 등이 수요자들의 요망 수준을 만족시키도록 계획되어야 하므로 매우 복잡한 문제가 된다. 본 연구는 물류센터의 물류서비스를 수행하기 위한 적정 물류센터의 위치 선정 및 선정된 물류센터에서의 운송 계획을 수립하는 통합차량화물 운송문제를 다룬다. 화물운

송 차량은 〈그림 2〉와 같이 화물저장창고와 각 지역별로 화물을 분배시키는 컨베이어시스템 등으로 구성된 물류센터에서 각 수요지로 운송할 화물을 싣고 운행을 수행한다.

본 연구에서는 다음과 같이 크게 2-단계 접근 방법을 사용한다.

- 1) 물류센터의 위치선정(location problem) 및 서비스영역할당문제로서 GIS시스템에 기존의 set-covering문제를 보완한 stochastic set-covering문제로 정식화하며, 물류센터별 서비스 영역할당 문제를 위하여 clustering 알고리즘을 개발하여 적용한다.
- 2) 기존의 Saving알고리즘[5], Tabu Search방법[10, 13] 및 유전자알고리즘을 이용한 차량운송계획(GA-TSP)[4, 11, 12, 14, 15]들을 비교 연구하고, 본 연구에서는 GIS기반에서 Tabu Search방법을 이용한 차량운송 계획문제를 다룬다. 이를 효과적으로 지원하기 위하여 최근에 중요시되고 있는 e-logistics와 사용자 위주의 GUI-Type 전산 프로그램을 개발한다.

지금까지의 화물운송 문제에서는 거리산정 방법과 화물의 차량운송지역의 위치와 이동경로 등



〈그림 2〉 물류센터 설비배치 예

이 실제 지형정보를 고려하지 못하고 공급자(supplier) 중심의 연구들이 수행되었다. 또한 대다수의 연구는 물류센터 및 수요지의 위치와 운송경로 등 현실적인 지형여건을 고려한 시각화 시스템 구현 및 실제의 운송정보를 고려하지 않고 있다.

본 연구에서는 <그림 3>과 같이 도로교통정보 시스템 등의 실제 GIS상에서 Geo-DataBase를 고려한 거리산정 방법과 차량운송 시스템의 기본 이론을 전개하고 이를 구현하기 위하여 부산지역 디지털맵과 ArcLogistic을 연계한 전산 프로그램을 개발한다. 그리고 개발된 통합 차량운송계획모델을 택배운송회사의 실제 문제에 응용하고 그 결과를 보인다.

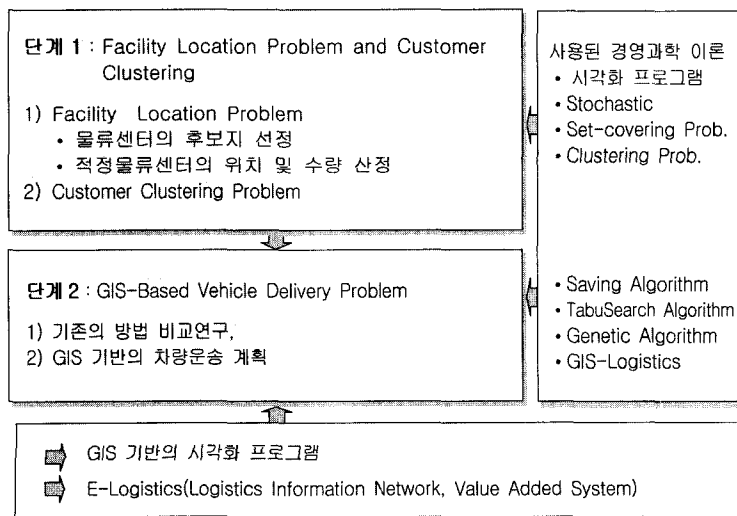
2. 물류센터의 수요 및 최적위치 선정

2.1 Stochastic set-covering 방법을 적용한 물류센터의 적정위치선정 문제

물류시스템(물류센터)의 계획과 차량운송 경로 계획문제는 일반적으로 물류센터의 위치와 운송경

로의 선택 및 각 경로내 차량 배치문제들이 포함된다. 이를 위하여 물류센터의 위치 결정문제(location problem)는 가능한 물류센터의 후보 위치에 요망 지원수준을 충족시키기 위한 최소 수의 물류센터 선정과 배치, 차량별 운송량의 할당 및 운송 계획 등이 수요자들의 요망 수준을 만족시키도록 계획되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 수요지의 요망 물류 서비스를 충족시키기 위한 적정 물류센터의 위치 및 운송 계획을 수립하기 위해 물류센터와 수요자로 구성되는 2단계 물류 시스템에서 일정한 고객요망 서비스 수준으로 지원하기 위한 통합 물류계획모델의 연구를 수행한다. 이를 위해 다음과 같이 2단계에 따라 하나의 통합모델로 개발하였으며 관련 시각화 전산 프로그램을 개발하여 실제에 적용하였다. 본 연구에서 고려한 내용은 다음과 같다.

- 가능한 물류센터배치 후보지에서 주어진 수요지 요망서비스를 만족시키기 위한 물류센터의 최소 수와 최적 위치 산정을 위하여 stochastic set-covering 방법을 사용하며 이를 위한 시각화 전산 프로그램을 개발.



<그림 3> GIS기반의 통합 차량 운송시스템

- 각 물류센터에서 담당할 영역할당을 위한 알고리즘(sector clustering algorithm)을 개발하여 적용.

본 연구는 일반적인 확정적 설비배치 모델(deterministic set-covering model)로부터 운송시간 및 서비스 수준과 물류 설비의 가용을 등이 확률 분포로 주어 질 경우, 일정한 서비스 요망수준이 보장되는 최적 물류센터의 위치 선정 문제를 먼저 확정적인 모델로 다음과 같이 D1 문제로 정식화 한다[9].

$$D1 : \text{Min} \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

$$s.t. \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \geq 1 \text{ for all } i = 1, \dots, m$$

$$X_j = 0 \text{ or } 1 \text{ for all } j = 1, \dots, n$$

여기서, n = 물류센터의 가용 후보지 수
 m = 수요 지(Destination)의 수
 a_{ij} = Covering coefficient

$$a_{ij} = 1, \text{ if } F_{ij} \leq A_i$$

$$a_{ij} = 0, \text{ 그 이외의 경우}$$

$$F_{ij} = \text{서비스 수준(거리, 또는 시간, 물류비용)}$$

$$A_i = \text{수요지 } i \text{의 서비스수준}$$

$$X_j = 1, \text{ 위치 } j \text{에 물류센터가 배치될 경우}$$

$$X_j = 0, \text{ 그 외의 경우}$$

$$C_j = \text{위치 } j \text{에 물류센터배치시 소요 비용}$$

여기서, 설비배치모델의 특성상 C_j 는 다음과 같이 0 또는 1의 값을 갖는다.

$$C_j = 1, \text{ 위치 } j \text{에 물류센터가 배치될 경우,}$$

$$C_j = 0, \text{ 기타의 경우.}$$

모델 D1은 물류센터의 서비스 수준이 확정적이고 물류센터는 항상 가용상태에 있는 경우이다. 그러나 실제 문제에서는 운반시간, 거리 및 물류센터의 가용률이 확률분포로 주어질 경우 위의 모델로서는 적정 해를 구할 수 없다. 이를 위하여 다음과 같이 확률적 설비배치 문제(stochastic set-covering model)로 정식화한다.

$$P1 : \text{Min} \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

$$s.t. \sum_{j=1}^n \hat{a}_{ij} X_j \geq 1$$

$$X_j = 0 \text{ or } 1$$

$$\hat{a}_{ij} = 1, \text{ if } \text{Prob}(F_{ij} \leq A_i) \geq r_i$$

$$\hat{a}_{ij} = 0, \text{ otherwise}$$

$$j \in \theta(x),$$

$$\theta(x) = \{j \mid X_j = 1, j = 1, \dots, n\}$$

여기서, r_i 는 수요지 i 의 최소 서비스 허용 확률이다.

P1의 모델에서 물류센터 X_j 가 가용상태에 있을 확률 b_j 를 고려하기 위하여 다음과 같이 수요지가 X_j 에 의하여 서비스를 받을 수 있는 확률 p_{ij} 를 고려한다.

$$b_j = \text{Prob.}(X_j \text{가 가용상태에 있을 경우})$$

$$p_{ij} = \text{Prob.}(수요지 } i \text{가 물류센터 } X_j \text{에}$$

$$\text{의해서 지원될 경우})$$

$$= a_{ij} \cdot b_j$$

$$q_{ij} = 1 - p_{ij}$$

위의 식으로부터 일정 수요지 i 가 가용한 모든 물류센터로부터 서비스를 받을 수 있을 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{Prob.}(수요지 } i \text{가 가용한 물류센터로부터 서비스를}$$

$$\text{받을 경우}) = 1 - \prod_{j \in \theta(x)} q_{ij}$$

여기서, $\theta(x) = \{j \mid X_j = 1, j = 1, \dots, n\}$

위 식을 변형하여 P2의 식으로 정식화한다.

$$P2 : \text{Min} \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

$$s.t. 1 - \prod_{j \in \theta(x)} q_{ij} X_j \geq r_i,$$

$$X_j = 0 \text{ or } 1, \text{ for all } i = 1, \dots, m$$

여기서 조건 식을 다음과 같이 간편 식으로 전개하여 P3 모델로 정식화한다.

$$1 - \prod_{j \in \theta(x)} q_{ij} \cdot X_j \geq r_i$$

위의 식으로부터, $\prod_{j \in \theta(x)} q_{ij} \cdot X_j \leq 1 - r_i$ 위 식의 양변에 Log를 취하여 정리하면,

$$- \sum_{j=1}^n (\ln q_{ij}) \cdot X_j \geq - \ln(1 - r_i)$$

여기서, $S_{ij} = - \ln q_{ij}$, $W_i = - \ln(1 - r_i)$ 인 경우, P2 모델로부터 P3과 같은 모델로 정식화 할 수 있다.

$$P3: \text{Min} \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

$$\text{s.t} \sum_{j=1}^n S_{ij} X_j \geq W_i$$

$$X_j = 0 \text{ or } 1$$

P3은 0-1 programming의 문제가 되며 위의

조건을 만족하는 배치대안이 다수인 경우, 이를 위한 별도의 0-1 programming을 개발하여 최적대안을 구한다.

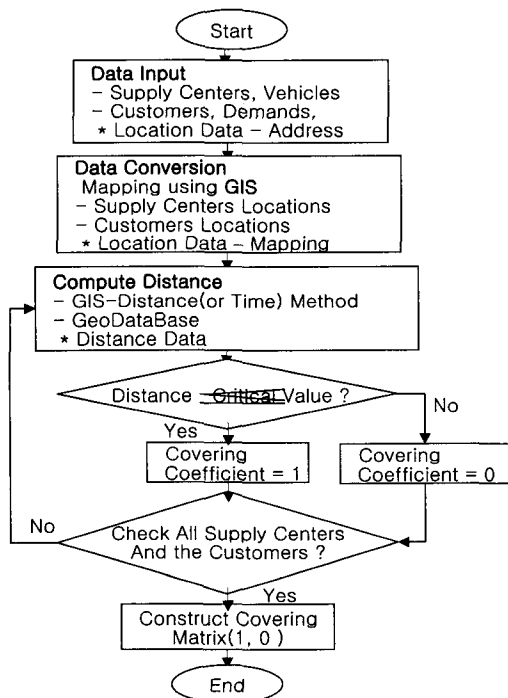
이를 통해서 산정 되는 stochastic set-covering 프로그램의 흐름도는 <그림 4>와 같다.

2.2 Stochastic Set-Covering방법의 응용사례

입출력화면을 GIS기반에서 수요지 및 물류센터의 위치가 구현되도록 개발하여 택배업체인 C 화물회사의 차량운송계획문제에 적용하고 그 결과를 보였다. 물류센터의 최적위치산정 모델의 응용을 위하여 <그림 5> 및 <그림 6>과 같이 부산 지역의 물류센터 후보지가 7곳이며 50개소의 수요지를 지원하는 C화물회사의 차량운송계획문제에 적용시키고 일정 시간 이내에 서비스 가능한 최적 물류센터의 위치를 결정하는 문제를 본 모델에 적용하였다. 주요 입출력자료를 표시하면 다음과 같다.

● 주요 입력 자료

- 1) 일반 자료 : 수요지 수 = 50
 - 물류센터 후보위치 = 7
 - 가용한 물류센터 수 = 5
- 2) 수요지 및 물류센터의 위치 자료 : 물류센터 및 수요지의 위치를 문자형 주소로 입력받아 <그림 7>과 같이 GIS에서 구현되도록 프로그램을 개발하여 사용하였다.
- 3) 설비의 가동률
 - 1th 물류센터 available state prob. = 0.96
 - 2th 물류센터 available state prob. = 0.97
 - 3th 물류센터 available state prob. = 0.98
 - 4th 물류센터 available state prob. = 0.97
 - 5th 물류센터 available state prob. = 0.99
 - 6th 물류센터 Available State Prob. = 0.97
 - 7th 물류센터 available state prob. = 0.98
- 4) Cover probability(각 수요지가 각각의 물류센터에서 서비스를 받을 확률) = 10%~80%



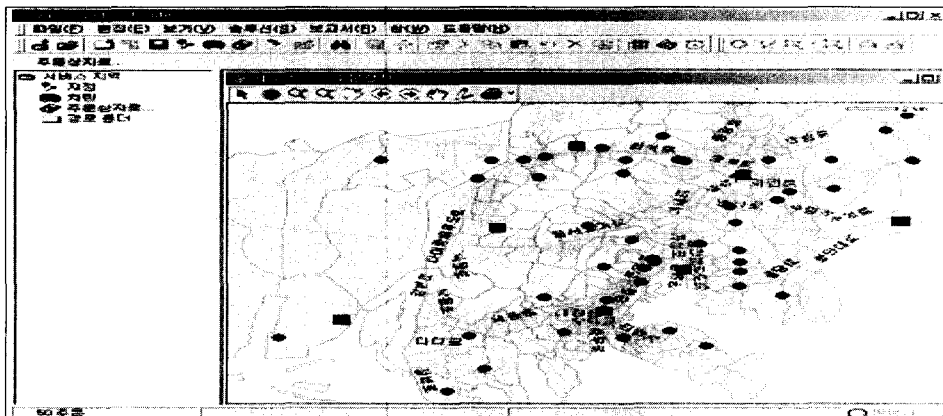
<그림 4> Stochastic set-covering 프로그램 흐름도

이름	주소	유형번호	지점운영시간
부산진 영업소	부산광역시 동구 범일5동 588-1		오전 9:00:00 · 오후 7:00:00
사상 영업소	부산광역시 사상구 감전2동 110-20		오전 9:00:00 · 오후 7:00:00
덕정 영업소	부산광역시 북구 덕천1동 814-1		오전 9:00:00 · 오후 7:00:00
연제 영업소	부산광역시 연제구 거제1동 223-6		오전 9:00:00 · 오후 7:00:00
대교동 영업소	부산광역시 중구 중앙동 40-2		오전 9:00:00 · 오후 7:00:00
괴정 영업소	부산광역시 사하구 하당1동 870		오전 9:00:00 · 오후 7:00:00
해운대 영업소	부산광역시 해운대구 우1동 497-25		오전 9:00:00 · 오후 7:00:00

〈그림 5〉 GIS상에서의 물류센터의 후보위치정보(7개소 후보지 주소)

유형번호	이름	주소	유형번호	운영시간
A1-1	임재만	부산광역시 연제구 연산2동 777-54	612-827	오전 10:00:00 · 오후 3:00
A10-1	유재영	부산광역시 서구 초량동 113-28	601-010	오전 10:00:00 · 오후 4:00
A11-1	김영준	부산광역시 북구 덕천동 413-33	616-800	오전 10:00:00 · 오후 3:00
A12-1	김홍택	부산광역시 동구 초량3동 1149-3	601-836	오전 1:00:00 · 오후 6:00
A13-1	이성재	부산광역시 남구 대연4동 1294-20	608-814	오전 10:00:00 · 오후 6:00
A14-1	이준혁	부산광역시 부산진구 가산동 12	614-800	오전 9:00:00 · 오후 3:00
A15-1	정영태	부산광역시 연제구 연산1동 176-7	611-825	오전 9:00:00 · 오후 6:00
A16-1	유영환	부산광역시 영도구 용산1동 215-15	606-806	오전 10:00:00 · 오후 5:00
A17-1	이지현	부산광역시 강서구 대저1동 2610-4	618-141	오전 10:00:00 · 오후 3:00
A18-1	주영진	부산광역시 동래구 문현3동 1234-16	607-064	오전 9:00:00 · 오후 5:00
A19-1	김미정	부산광역시 동구 범일1동 113-11	601-061	오전 10:00:00 · 오후 5:00
A2-1	이무호	부산광역시 동구 수영3동 870-434	601-819	오전 9:00:00 · 오후 12:00
A20-1	박종신	부산광역시 해운대구 구동 1179	612-031	오전 9:00:00 · 오후 6:00
A21-1	조시형	부산광역시 사하구 신원1동 111-30	604-833	오전 10:00:00 · 오후 4:00
A22-1	박정일	부산광역시 해운대구 반송2동 40	612-800	오전 11:00:00 · 오후 5:00
A23-1	정성민	부산광역시 동구 영주1동 275-4	600-111	오전 9:00:00 · 오후 5:00
A24-1	김상익	부산광역시 사상구 삼락동 188	617-070	오전 9:00:00 · 오후 5:00
A25-1	이미선	부산광역시 동구 범일4동 65-141	601-064	오전 9:00:00 · 오후 5:00
A27-1	오수진	부산광역시 영도구 남항동 60-2	606-031	오전 10:00:00 · 오후 5:00
A27-1	김희수	부산광역시 남구 대연5동 1506-14	608-025	오전 10:00:00 · 오후 4:00
A28-1	김하나	부산광역시 사하구 하당1동 2948	604-021	오전 9:00:00 · 오후 4:00
A29-1	최영철	부산광역시 동래구 양정2동 309-8	607-112	오전 10:00:00 · 오후 3:00
A3-1	박승조	부산광역시 영도구 용산1동 277-18	606-822	오전 2:00:00 · 오후 6:00
A30-1	유필상	부산광역시 북구 만덕2동 987-19	616-112	오전 9:00:00 · 오후 7:00
A31-1	신병철	부산광역시 해운대구 가동1동 1127-10	612-833	오전 10:00:00 · 오후 9:00
A32-1	이준수	부산광역시 남구 용호4동 70-2	608-904	오전 9:00:00 · 오후 4:00
A33-1	이항만	부산광역시 동래구 오천2동 135	607-839	오전 10:00:00 · 오후 3:00
A34-1	김선식	부산광역시 동구 강동4동 660-142	601-826	오전 11:00:00 · 오후 3:00
A35-1	이동규	부산광역시 북구 만덕1동 826-22	616-830	오전 2:00:00 · 오후 7:00
A36-1	정철호	부산광역시 사하구 신원1동 111-435	604-833	오전 10:00:00 · 오후 1:00
A37-1	김영선	부산광역시 남구 갈마1동 333	608-801	오전 3:00:00 · 오후 5:00
A38-1	박승우	부산광역시 부산진구 개금3동 614-3	614-133	오전 9:00:00 · 오후 5:00

〈그림 6〉 GIS상에서의 수요지의 위치 정보(50 개소 수요지 주소)



〈그림 7〉 수요 지 및 물류센터의 주소를 GIS상의 위치로 표시
 (■ : 물류센터 후보 위치, ● : 수요지 위치)

● 주요 출력 자료

- 1) <그림 5>와 <그림 6>의 위치자료를 <그림 7>과 같이 GIS에서 구현하였다
- 2) 수요지의 요망되는 서비스 수준으로 서비스를 받을 수 있는 확률을 고려한 물류센터의 소요 및 배치 대안을 산정 한다. 가용 물류센터의 후보위치가 7개소인 경우 수요지의 요망 서비스 수준을 만족할 확률이 50%일 때 부록과 같이 19가지의 최적배치 대안을 산정하였다.

3. 차량화물운송계획

3.1 수요지 지원 영역할당 알고리즘(Sector clustering algorithm)

물류센터의 서비스영역 설정은 가까운 거리에 있는 수요지를 각 물류센터에 먼저 할당하는 sector clustering 알고리즘을 개발하여 사용한다. 수요지 지원 영역할당을 위한 수리모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_i \sum_j T_{ij} X_{ij} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_j X_{ij} = 1, \quad \forall i \\ & \sum_i a_i X_{ij} \leq S_j, \quad \forall j \\ & X_{ij} = 0 \text{ 또는 } 1 \end{aligned}$$

여기서,

a_i : 수요지 i 의 수요량

S_j : 물류센터 j 의 공급량

T_{ij} : 수요지 i 와 물류센터 j 간거리

X_{ij} : 수요지 i 가 물류센터 j 에 할당될 경우 1, 그렇지 않으면 0의 값을 가진다.(물류센터 j 가 서비스하는 가능한 수요지의 조합 범위에서, $i \in \theta_j, \forall j$)

θ_j : 물류센터 j 에 할당되는 수요지 i 의 가능한 조합

위의 해를 구하기 위하여 수요지와 각 물류센

터간의 거리를 GIS-distance[1]방법을 사용하였으며, 영역할당의 수리 모델의 조건 식을 만족하는 해를 다음과 같이 heuristic algorithm을 개발하여 사용하였다.

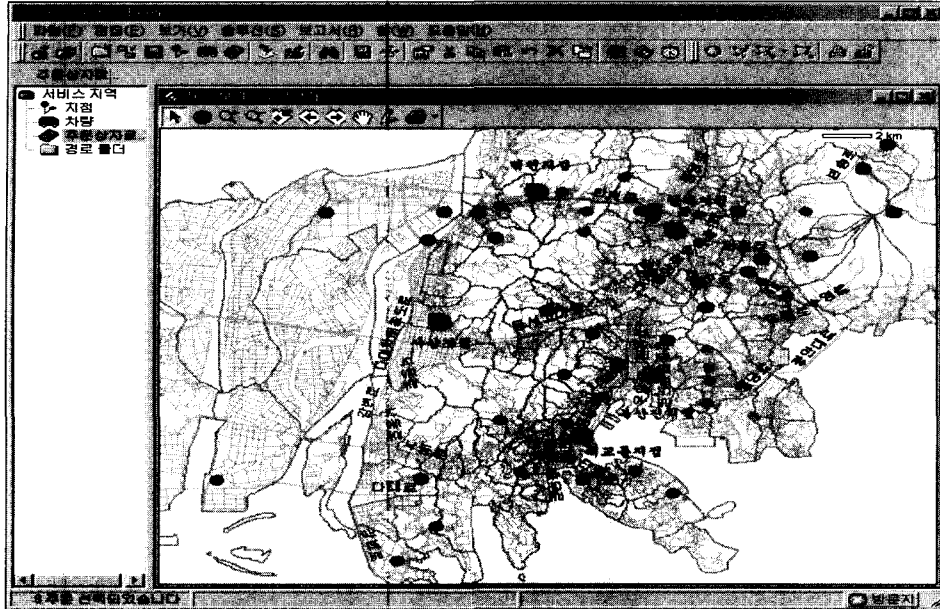
- 1) 각 물류센터에서 모든 수요지 간의 거리를 실제거리(GIS-distance) 방법을 사용하여 구한다.
- 2) 각 물류센터별로 계산된 거리를 오름차순(ascending)으로 정렬한다.
- 3) 물류센터의 공급능력을 고려하여 다시 수요지를 할당한다.
- 4) 각 물류센터에 할당된 수요지를 비교 확인하여 중복된 수요지가 있는지 체크한다. 만일 중복된 수요지가 없는 경우 최적해라고 가정하고 끝낸다. 중복된 수요지가 있는 경우 단계 5)로 넘어간다.
- 5) 중복된 수요지들 중 물류센터와의 거리가 가장 작은 수요지를 선택한다.

구역할당 알고리즘은 각 물류센터에서 가까운 거리에 있는 수요지를 각 물류센터에 먼저 할당한다는 가정을 고려한다.

본 연구에서는 GIS기반에서 시각화 프로그램을 개발하여 사용하였다. 앞의 예제에서 C 택배시스템의 경우 stochastic set-covering방법을 통해 산정된 5개소의 물류센터가 50개소의 수요지를 지원할 경우 각 물류센터별 수요지의 서비스 구분을 sector clustering model을 응용하여 구한 결과를 요약하면 <그림 8>과 같다. 이중 부산진 영업소에 할당된 수요지(고객)의 예를 들면 <표 1>과 같다.

3.2 기존 방법의 비교연구

차량운송계획의 문제는 비교적 많은 연구가 연구된 분야이며, 차량운행시간의 제한 및 가용차량대수와 적재능력 등에 따라 다양한 연구가 수행되어 왔다. 또한 이를 위한 접근방법에 따라 다양한



〈그림 8〉 각 물류센터별 영역할당 결과

〈표 1〉 부산진영업소에 할당된 고객정보

고객번호	이름	주소	우편번호
A 12	김 * 택	부산광역시 동구 초량3동 1149-3	601-836
A 19	김 * 정	부산광역시 동구 범일1동 113-11	601-061
A 34	김 * 식	부산광역시 동구 좌천4동 860-142	601-826
A 45	이 * 진	부산광역시 남구 감만2동 33-185	608-800
A 25	이 * 선	부산광역시 동구 범일4동 65-141	601-064
A 13	이 * 재	부산광역시 남구 대연4동 1204-20	608-814
A 26	김 * 수	부산광역시 남구 대연5동 1506-14	608-025
A 9	이 * 준	부산광역시 남구 대연5동 82	608-025
A 30	유 * 상	부산광역시 북구 만덕2동 887-19	616-112

연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 이러한 방법 중 실무에 응용 가능하도록 응용프로그램을 개발된 3가지 방법 ; 1) saving algorithm, 2) 유전자알고리즘(genetic algorithm)을 이용한 차량운송계획, Donguei-VRP Solver 및 3) GIS 환경에서 Tabu Search 방법을 이용한 차량운송계획 방법을 비교하고 각각의 프로그램을 개발하고 이를 C 택배 회사에 응용하고 그 결과를 비교하여 보았다.

3.2.1 Saving algorithm

Clarke와 Wright[5]의 절약 알고리즘(Clarke and Wright's Saving algorithm)은 Danzig and Ramzer의 기법을 수정한 방법으로, 임의의 두 수요 지점이 경유되지 않고 별도의 차량으로 배송될 때에 비하여 한대의 차량에 의해 경유될 경우의 비용의 절약(savings)값이 큰 수요 지점이 우선적으로 경유하도록 수요 지점을 할당하는 방법이다. Clarke와 Wright의 알고리즘의 계산절차는 다음과 같다.

- 1) 하나의 차량에 대해 각 수요지의 초기 할당이 가능하다고 가정한다.
- 2) 각 차량의 능력에 대하여 각 수요지의 수요량의 할당 가능한 가를 결정한다.
- 3) 모든 수요지에 대해 절약값(savings) = $d_{0y} + d_{0z} - d_{yz}$ 과 거리 값을 계산한다.
- 4) 거리값과 절약값은 2차원 행렬 테이블($y : z$)로 표시하고 만일 경로상의 수요지 a_y 와 a_z 가 연결되었을 때는($y : z$)에 대해 $t_{y,z} = 1$ 로 표시하며, 연결되어있지 않으면 $t_{y,z} = 0$ 으로 표시한다. 그리고 ($y : z$)에 대하여 각각이 연결된다면 $t_{y,z} = 2$ 로 표시한다.
- 5) 계산된 2차원 행렬 테이블과 차량의 능력을 고려한 수요지의 할당 가능한 수량을 표시한 테이블의 각 아이템이 초기 가능해(initial feasible solution)가 되며 절약값 중에 최대값을 찾아 그 수요지의 수요량이 차량의 능

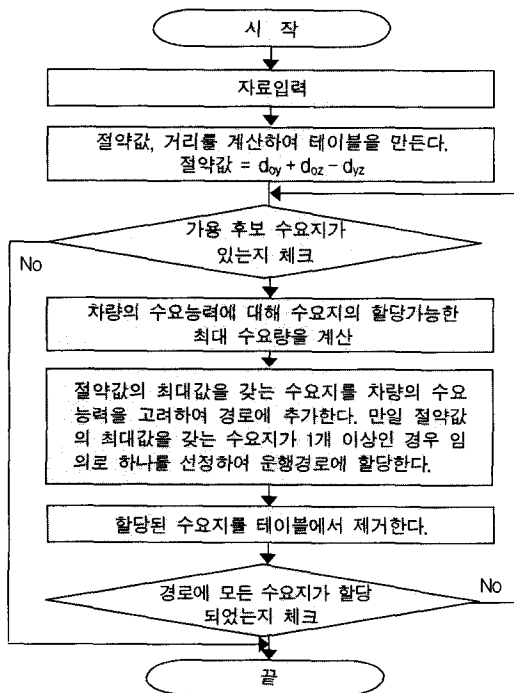
- 력을 초과하지 않으면 초기경로에 할당한다.
- 6) 할당된 수요지는 테이블에서 제거하고 다시 표에서 할당 가능한 수요지를 찾아 모든 가능한 수요지가 경로에 할당 되도록 반복한다.
- 7) 모든 수요지가 할당되거나 차량이 부족 한 경우 반복 루틴을 끝낸다.
- 8) 단계 2)로 간다.

Clarke와 Wright의 알고리즘의 계산 절차를 이용하여 <그림 9>와 같이 전산프로그램을 개발하고 <그림 10>과 같이 C 택배회사에 응용한 결과를 보였다. 본 예제에서의 주요 결과는 다음과 같다.

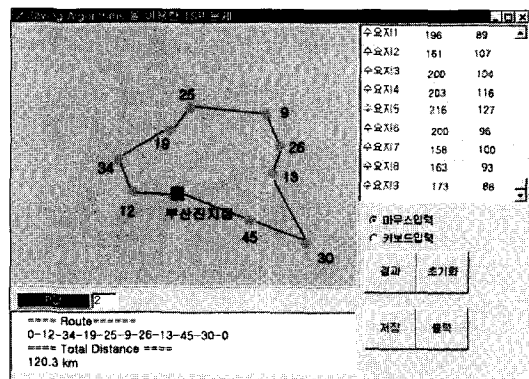
최적경로 : A12 - A30 - A19 - A25 - A9 - A26 - A13 - A45 - A30

총 운송거리 : 120.3 km

그러나 lp-distance를 통해 saving algorithm은 운반차량의 운송거리를 계산하지만 실제 문제와 많은 차이를 가져 올 수 있다. 초기 해의 결정방법에 따라 결과가 달라질 수 있고 많은 수요지를 포함하는 문제의 경우 계산과정이 복잡한 단점이 있다. 또한 차량의 운반용량, 시간제한 등 실제 여건들을 고려하지 못하였다. 이를 보완하여 다음과 같이 유전자 이론(genetic algorithm) 및 GUI-type 프로그램을 방식으로 한 Dongeui GA-VRP방법을 개발하여 사용한다.



<그림 9> Saving algorithm의 흐름도



<그림 10> Saving algorithm의 사례(C 택배회사의 부산진영업소 사례)

3.2.2 Dongeui GA-VRP solver

Dongeui GA-VRP solver는 단일 물류센터 문제의 차량경로계획을 수립하기 위하여 차량 종류별, 차량대수 및 운반능력을 고려하여, 차량운행 시간제한 및 물류센터의 공급능력 등을 고려한 차량경로 계획 프로그램이다. 차량운송계획을 위해서 산정된 거리값은 lp-distance를 이용하였다. 본 방법에서 사용된 차량경로계획을 위한 수리모델은 Golden, B. & Bodin, T에 의해 제시된 모델을 개선하여 사용하였으며 최적 해를 쉽게 구하기 위하여 유전자알고리즘(genetic algorithm)[12, 16] 중 crossover를 통해 초기 해를 결정하는 방법을 개선하여 이용하였다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize} \quad \sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^m \sum_{v=1}^{NV} C_{ab} X_{ab}^v \\
 & \text{St} \quad \sum_{a=1}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ab}^v = 1 \quad (b = 2, \dots, m) \\
 & \quad \sum_{b=1}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ab}^v = 1 \quad (a = 2, \dots, m) \\
 & \quad \sum_{a=1}^m X_{ap}^v - \sum_{b=1}^m X_{pb}^v = 0 \quad (v = 1, \dots, NV ; p = 1, \dots, m) \\
 & \quad \sum_{a=1}^m D_a \left(\sum_{b=1}^m X_{ab}^v \right) \leq DV \quad (v = 1, \dots, NV) \\
 & \quad \sum_{b=2}^m X_{1b}^v \leq 1 \quad (v = 1, \dots, NV) \\
 & \quad \sum_{a=2}^m X_{a1}^v \leq 1 \quad (v = 1, \dots, NV) \\
 & \quad X = [X_{ab}^v] \in S \\
 & \quad X_{ab}^v = 0 \text{ or } 1 \text{ for all } a, b, v
 \end{aligned}$$

여기서,

- m : 수요지점의 수
- NV : 차량의 수
- DV : 차량의 적재용량
- D_a : 수요지별 수요량 ($D_0 = 0$)
- C_{ab} : 수요지 a 에서 b 까지 운행하는데 소요되는 비용

즉 $X_{ab}^v = 1$, 수요지 a, b 가 차량 v 에 의해 운행되었다면 “1” 그렇지 않으면 “0”이다.

본 방법은 객체 지향적 프로그래밍기법(object oriented programming)을 통해 다 물류센터의 최적 차량운송 프로그램에 GA를 적용하여 차량운송 계획을 수립하도록 하였다. <그림 11>의 3단계 모듈들을 통합한 통합차량경로계획 S/W를 개발된 Dongeui GA-VRP Solver는 Window System 환경 하에서 실행되도록 개발되었다. 이 C택배회사의 최적경로계획 문제에 응용하고 그 결과를 <그림 12>와 같이 보였다. 본 예제에서의 주요 결과는 다음과 같다.

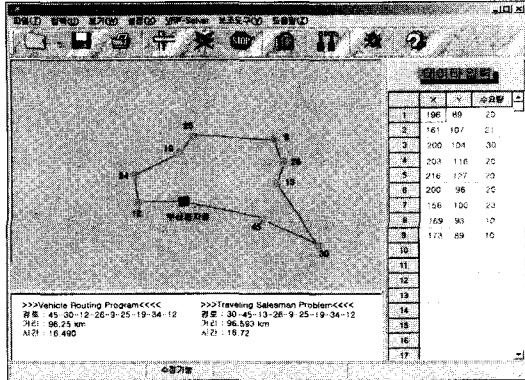
물류센터 Type	Module	Module의 역할
다 물류센터	1 Sector-Clustering Module	- 다 물류센터를 단일물류로 구역할당을 수행하는 모듈
단일 물류센터	2 VRP Module	- VRP Module (차량종류별 운송경로계획모듈) (차량 운행거리 및 시간제약이 존재하는 경우의 운송계획)
	3 GA-TSP Module	- Random TSP (경험적인 차량운행계획 모듈) - GA-TSP (유전자알고리즘을 이용한 차량운행계획 모듈)

<그림 11> GA기반의 Dongeui GA-VRP solver의 구성도

최적경로 : A30 - A45 - A13 - A26 - A9 - A25
- A19 - A34 - A12

총 운송거리 : 96.56 km

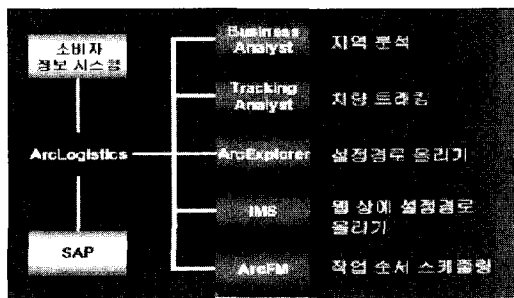
본 시스템은 GUI-type 프로그래밍방법을 사용하여 window program으로 개발하여 사용자들이 쉽게 활용할 수 있도록 개발되었으며 차량의 운송 시간, 운송능력 등을 고려하여 사용자 위주의 활용하기 쉽도록 개발되었다. 그러나, 물류센터 및 수요지의 위치 표시를 X, Y 좌표계를 사용하고 각 위치간의 거리산정은 lp-distance를 사용하기 때문에 현실성이 결여되는 단점이 있다.



<그림 12> GA-VRP solver의 응용사례(C택배회사의 부산진영업소 사례)

3.3 ArcLogistics 기반의 차량운송계획

실제의 차량운송계획을 위해 앞서 제시된 방법들을 토대로 부산지역 Geo-DataBase와 연계된 GIS 환경에서 주소입력을 통한 위치 선정, 차량경로설정과 스케줄링 최적화가 가능하도록 개발된 ArcLogistics GIS-VRP[7]를 이용하였다. ArcLogistics GIS-VRP는 Tabu Search를 이용한 시간이 제약된 차량경로문제해법을 GIS 환경에서 구현할 수 있도록 개발되었으며 이를 C택배 회사의 차량운송경로 예제에 적용하고 그 결과를 보였다. <그림 13>은 이러한 ArcLogistics GIS-VRP의 화물운송계획구조를 나타내고 있다.

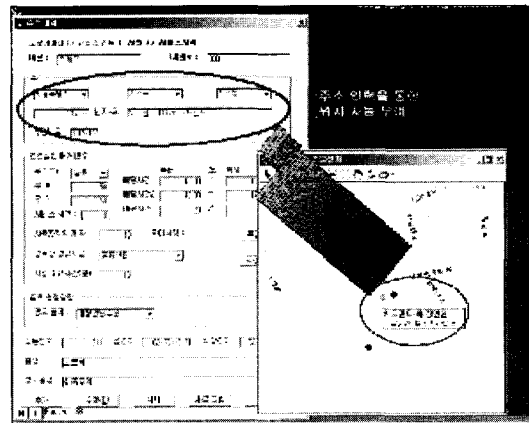


<그림 13> ArcLogistic 기반의 화물운송계획구조 (ArcView manual에서 인용)

차량운송계획문제에서는 GIS환경을 고려하여 이

의 응용에 필요한 여러 가지 레이어(layer)들의 정보들을 하나의 디지털 맵을 구성하여 사용하였으며 또한 화물운송 경로문제를 해결하기 위해서 Arc-Logistics routing SW를 사용하고 지형 및 도로 자료를 데이터베이스 화한 Geo-dataBase로 부터 거리와 시간을 산출하여 사용하였다. 다음과 같은 과정에 따라 GIS에서 화물 운송계획을 수립한다.

- 1) 화물 운송 지역을 GIS환경에서 <그림 14>와 같이 표시하고, 각 도로 Geo-DataBase를 이용하여 GIS-distance방법으로 각 운송구간의 거리를 산정 한다.

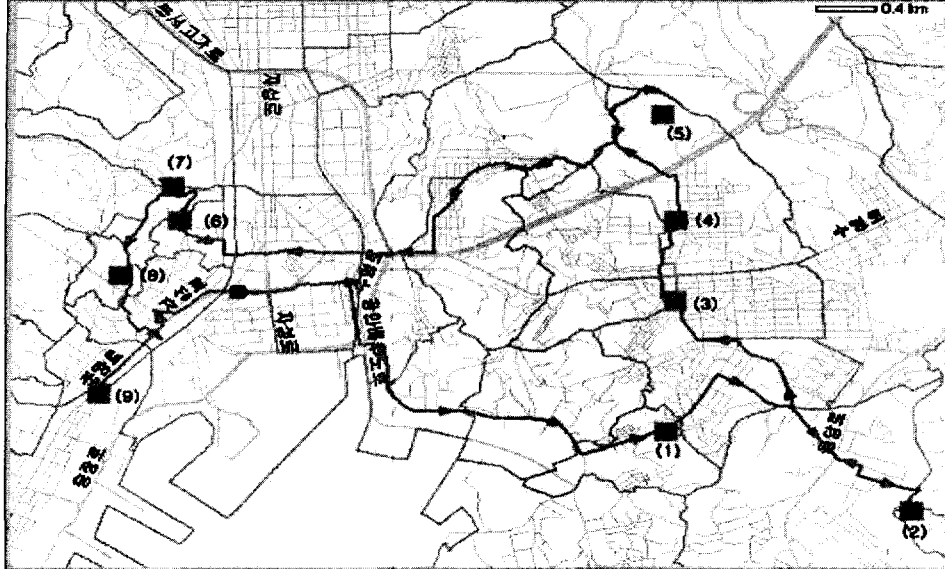


<그림 14> GIS환경에서 주소정보로부터 위치표시 (ArcView manual에서 인용)

- 2) 물류센터 및 수요지 주소를 입력하고 <그림 15>와 같이 GIS를 이용하여 표시한다.
- 3) Tabu search방법으로 최적 운송계획 및 시간을 산정 한다.

위의 과정을 위한 전산 프로그램을 개발하고 <그림 15>와 같이 C택배회사의 차량운송계획문제에 적용하고 결과를 보였다. 본 예제에서의 주요 결과는 다음과 같다.

- 최적경로 : A45 - A30 - A13 - A26 - A9 - A19 - A25 - A34 - A12
- 총 운송거리 : 128.0 km



〈그림 15〉 GIS기반의 차량운송계획 사례(C 택배 부산영업소 경우)

- 운송시간 : 09 : 00 ~ 13 : 36
- 총 무게 : 336 kg,
- 주문 건수 : 9건.

위에서와 같이 차량운송경로를 위한 기존의 방법들과 ArcLogistics를 사용하여 GIS 기반의 최적 운송경로를 산정하는 방법을 C 택배회사의 최적경로계획문제에 응용하고 그 결과를 요약하면 <표 2>와 같다.

<표 2>의 연구 결과를 보면, saving algorithm 및 Dongeui GA-VRP Solver의 경우 보다 Arc-Logistics GIS-VRP의 경우는 총 주행거리가 더 많다. 이는 GIS-distance를 기반으로 실제 도로 지형을 고려하여 계산하였기 때문이다.

4. 결 론

본 연구는 ArcLogistics를 사용하여 GIS기반의 최적 운송경로를 산정하고 운송계획을 수립하였다. 그리고 C 택배 부산영업소의 차량운송 자료를 최적경로계획 문제에 응용하고 그 결과를 <표 2>와 같이 요약하였다.

기존의 2차원 평면중심에서 이루어졌던 차량운송계획 방법들을 비교 연구하였다. 그리고 거리산정 및 운송경로 문제에 대한 현실성 부족의 단점을 보완하여 GIS하에서 수요지의 서비스 수준을 고려한 차량운송 계획모델을 개발하고 이를 위한 GUI-type 전산 프로그램으로 개발하였다. 또한

〈표 2〉 최적경로계획 방법의 응용결과 비교

차량운송경로 계획방법	최 적 경 로	총 주행 거리(km)	Run Time	비 고
1. Saving algorithm	0-12-34-19-25-9-26-13-45-30-0	120.50	67	직선거리사용
2. Dongeui GA-VRP solver	0-30-45-13-26-9-25-19-34-12-0	96.56	98	직선거리사용
3. ArcLogistics GIS-VRP	0-45-30-13-26-9-19-25-34-12-0	128.00	120	GIS-distance 사용

수요지가 요망하는 서비스 수준으로 운송하기 위하여 stochastic set-covering 문제로 정식화하였다. 즉, 다 물류센터의 문제를 단일 물류센터의 문제로 변환하기 위하여 Clustering 알고리즘을 개발하였으며, GIS 기반의 경로계획(GIS-VRP)을 위한 프로그램을 개발하였다. 이를 C 택배회사의 차량운송 문제에 응용하여 물류센터의 최적 소요 위치 결정과 차량의 종류별 차량운송 경로계획과 운송 시 소요되는 시간 및 적재된 차량의 용량을 고려한 최적 운송계획을 산정 하였다. 개발된 프로그램에서 나타난 결과들은 기존의 방법들 보다 더욱 현실적으로 도로 상황에 맞게 정확한 차량경로를 보여주었다.

보다 신속하고 정확한 배송체계를 위해서는 물류관리자와 이를 수행하는 운전자 및 배달원 그리고 실제 화물운송을 의뢰하는 사용자간의 커뮤니케이션에 더욱 활기를 찾아줄 수 있는 고급 IT 기술과의 접목을 통한 mobile system, PDA 등과의 정보전달 개발 그리고 이들 정보들을 web-based 시스템과의 연계에 관한 연구가 요구된다.

참고 문헌

- [1] 황홍석, 조규성, "서비스수준을 고려한 GIS 기반의 차량운송시스템", 「경영과학」, 제18권 제2호(2001), pp.125-134.
- [2] 황홍석, 조규성, 유진식, "화물터미널 설비의 효과적인 설계 및 운영에 관한 연구", 「한국설비보전공학회지」, 제5권 제1호(2000).
- [3] 황홍석, 최철훈, 박태원, "수송경로 문제를 고려한 물류최적화모델의 연구", 「대한산업공학회지」, 제22권 제3호(1997).
- [4] Andrew, H., *SUGAL Genetic Algorithm Package*, University of Sunderland, England., 1995.
- [5] Clarke, G., and J.W., Wright, "Scheduling of vehicles from central depot to a number of delivery," *Operations Research*, Vol.12(1964), pp.568-581.
- [6] Eiichi, T.N., Michihiko, Y., Tadashi, and I., Toru, "Optimizing The Size And Location of Logistics Terminals," *IFAC Transp. Systems*, ___(1997), pp.769-774.
- [7] ESRI Inc., *ArcView Network Analyst*, An ESRI White Paper, 1998.
- [8] Ferreira, L., and J., Sigut, "Modeling Inter-modal Freight Terminal Operations," *Road and Transport Research*, Vol.4, No.4(1995), pp.4-16.
- [9] Francis, R.L., L.F., McGinns, and J.A., White, *Facility Layout and Location : An Analytical Approach*, 2nd edition, Prentice Hall, 1992.
- [10] Gendreau, M., H., Hertz, and G., Raport, *A Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problem*, Centre de Recherche, University of Montreal, Management Science, 1991.
- [11] Gillet, B., and L., Miller, "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem," *Operations Research*, Vol.22, No.2(1974), pp. 340-349.
- [12] Golden, B., I., Bodin, T., Doyle, and Jr., W., Stewart "Approximate Traveling Salesman Algorithm," *Operations Research*, Vol.28 (1980), pp.694-711.
- [13] Potvnt, J.Y., "The Vehicle Routing Problem with Time Window Part 1 Tabu Search," *Infornis Journal on Computing.*, Vol.8, No.2 (1996), pp.158-164.
- [14] Sam, R.H., and T.S., Osman., "Algorithms for the Vehicle Routing Problems with Time Deadlines," *American J. of Math. & Manag. Sci.*, Vol.13, No.3/4(1994), pp.323-355.
- [15] Solomon, M., M., Desrosiers, and J., Desrosiers, "A New Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Operations Research*, Vol.40, No.2(1992), pp. 342-354, 1992.

[부 록]

Sample output :

Critical cover probability가 50%인 경우, 수요지 i 가 X_j 에 의하여 서비스를 받을 수 있는 Covering Probability를 다음 식으로 구한 결과이며,

$$p_{ij} = \text{Prob.}(\text{수요지 } i \text{ 가 물류센터 } X_j \text{ 에 의해서 지원될 경우})$$

Covering Matrix는 이러한 Cover probability가 각 수요지의 최소 요망 서비스 수준(Critical cover probability = 0.50)의 만족 여부를 표시한 것이다.

출력데이터(Critical cover probability = 50% 인 경우)

Number of customers = 50

Number of feasible locations = 7

Number of available facilities = 5

Critical cover probability = 0.50

1th location Available State Probability = 0.9600

2th location Available State Probability = 0.9700

3th location Available State Probability = 0.9800

4th location Available State Probability = 0.9700

5th location Available State Probability = 0.9900

6th location Available State Probability = 0.9700

7th location Available State Probability = 0.9800

The covering probability with available state prob.

0.96000 0.96494 0.90810 0.97000 0.98744 0.00013 0.98000
 0.96000 0.97000 0.98000 0.97000 0.99000 0.38005 0.31153
 0.96000 0.95178 0.98000 0.65176 0.99000 0.05055 0.28112
 0.96000 0.97000 0.79060 0.97000 0.85254 0.00178 0.46697
 0.95821 0.96283 0.28305 0.97000 0.45395 0.00006 0.92664
 0.89640 0.42731 0.22945 0.97000 0.61417 0.00004 0.98000
 0.96000 0.97000 0.98000 0.96177 0.99000 0.54021 0.13763
 0.68228 0.41458 0.97999 0.00010 0.98578 0.97000 0.00001

0.96000 0.96463 0.97999 0.97000 0.99000 0.00053 0.98000
 0.96000 0.97000 0.98000 0.26797 0.99000 0.94004 0.00477
 0.95989 0.97000 0.38500 0.97000 0.25308 0.01704 0.00293
 0.96000 0.97000 0.98000 0.97000 0.99000 0.13942 0.61963
 0.96000 0.95117 0.98000 0.97000 0.99000 0.00084 0.98000
 0.96000 0.97000 0.98000 0.97000 0.99000 0.06322 0.77084
 0.96000 0.96575 0.97386 0.97000 0.98999 0.00021 0.98000
 0.95997 0.54872 0.98000 0.29779 0.99000 0.00698 0.32195
 0.95986 0.97000 0.40871 0.96997 0.23479 0.04348 0.00095
 0.95853 0.96270 0.29857 0.97000 0.48000 0.00006 0.94115
 0.96000 0.97000 0.98000 0.97000 0.99000 0.04784 0.89775
 0.00693 0.00068 0.00035 0.96972 0.00257 0.00000 0.98000
 0.96000 0.97000 0.98000 0.02196 0.99000 0.97000 0.00004
 0.00057 0.00011 0.00016 0.93779 0.00088 0.00000 0.97994
 0.96000 0.97000 0.98000 0.96165 0.99000 0.53839 0.13813
 0.96000 0.97000 0.79188 0.96977 0.53681 0.23137 0.00741
 0.96000 0.97000 0.98000 0.97000 0.99000 0.04556 0.90229
 0.96000 0.95905 0.98000 0.97000 0.99000 0.00689 0.98000
 0.96000 0.96891 0.98000 0.38612 0.99000 0.34076 0.04134
 0.17226 0.52820 0.53401 0.00014 0.08824 0.97000 0.00000
 0.68921 0.35282 0.05159 0.97000 0.16295 0.00002 0.98000
 0.95984 0.97000 0.45182 0.97000 0.52620 0.00061 0.36482
 0.46207 0.07909 0.05020 0.97000 0.23786 0.00000 0.98000
 0.95985 0.45799 0.97995 0.96838 0.99000 0.00014 0.98000
 0.86310 0.90925 0.05904 0.97000 0.09326 0.00002 0.47059
 0.96000 0.97000 0.98000 0.97000 0.99000 0.08936 0.77868
 0.95845 0.96999 0.22928 0.97000 0.24160 0.00056 0.10580
 0.96000 0.97000 0.98000 0.01811 0.99000 0.97000 0.00004
 0.96000 0.94199 0.98000 0.96966 0.99000 0.00321 0.97668
 0.93861 0.16381 0.97227 0.93568 0.99000 0.00003 0.98000
 0.86924 0.95980 0.05427 0.97000 0.06228 0.00099 0.08255
 0.96000 0.97000 0.89231 0.97000 0.81160 0.04564 0.01708
 0.96000 0.97000 0.98000 0.97000 0.99000 0.00296 0.97998
 0.96000 0.97000 0.98000 0.85507 0.99000 0.96742 0.00964
 0.95988 0.92601 0.98000 0.00456 0.99000 0.96976 0.00005
 0.95256 0.64726 0.45239 0.97000 0.85400 0.00010 0.98000
 0.96000 0.92878 0.98000 0.96999 0.99000 0.00124 0.97999
 0.00723 0.00073 0.00360 0.96979 0.00261 0.00000 0.98000
 0.17098 0.03409 0.00745 0.97000 0.03712 0.00000 0.98000
 0.95998 0.97000 0.47797 0.97000 0.33787 0.01844 0.00463
 0.71443 0.97000 0.06744 0.22892 0.01597 0.23463 0.00003
 0.95860 0.96555 0.28962 0.97000 0.45065 0.00081 0.89466

Covering matrix

1111101	1111101
1111100	1110100
1111100	0110010
1111100	1001001
1101001	1101100
1001101	0001001
1111110	1011101
1010110	1101000
1111101	1110110
1110110	1111101
1101000	1011101
1111101	1101000
1111101	1111100
1111101	1111101
1111101	1111110
1111101	1110110
1110100	1101101
1101000	1111101
1101001	0001001
1111101	0001001
0001001	1101000
1110110	1100000
0001001	1101001
1111110	
1111100	
1111101	

$$\sum X_j = 5, \text{ No. of alternative} = 19$$