

# GIS와 GOSST를 이용한 물류센터의 입지선정에 관한 연구

오 성 룩\* · 김 연 진\*\* · 차 주 일\*\*\* · 이 흥 철\*\*\*\*

## The Study of Selecting of Logistics Distribution Center Using GIS and GOSST

Sungrok Oh\* · Youn Jin Kim\*\* · Ju Il Cha\*\*\* · Hong-Chul Lee\*\*\*\*

### Abstract

By using GOSST theory, this paper models SSCFLP taking FLP, capacity of the facilities, single source capacitated limitation level and service enhancement issues into consideration. GOSST theory is strongly suggested as the solution procedure for these issues. We have used clustering of Center of Gravity method using the case study of the company S and then, took a heuristic GOSST measure in the alternative selection process. As a result, the research finds an alternative solution that both meets the satisfactory level of service and achieves consistent distribution capacity. When using this modeling, especially, to select the location of the logistics distribution center, the efficiency of current facilities is maximized while offering the minimum geometric distance for the alternative. Also, we can expect that the illustrated model and alternative solution can be applied to architecture of distribution system, to selection of telecommunication system locations for wireless network and to relocation of related facilities due to their sensitivities to location and weight.

Keywords : Grade of Services Steiner Minimum Tree, Steiner Tree, Center of Gravity method, GIS, Logistics Distribution Center

논문접수일 : 2011년 10월 24일      논문게재확정일 : 2011년 12월 02일

\* 고려대학교 산업경영공학과 석사과정, e-mail : osrwd@korea.ac.kr

\*\* 제2저자, 고려대학교 정보경영공학과 박사과정, e-mail : amon1214@korea.ac.kr

\*\*\* 제2저자, 삼성SDS 전략사업본부 전자물류운영그룹장, e-mail : tiger62.cha@samsung.com

\*\*\*\* 교신저자, 고려대학교 산업경영공학과 교수, e-mail : hclee@korea.ac.kr

## 1. 서 론

소비자의 기호가 점차 다양해지고 까다로워짐에 따라 제조업체간 경쟁은 더욱 치열해지고 있으며, 제품을 소비자에게 최종 소개하는 유통업체의 영향력은 갈수록 커지고 있다.

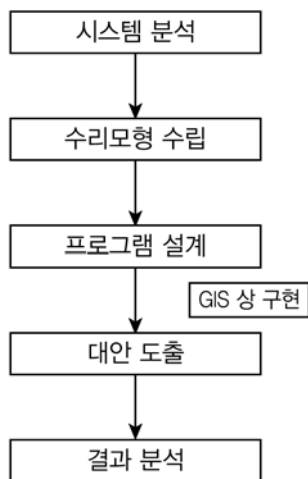
수많은 경영 혁신기법 도입을 통해 기업 내 낭비의 요소들을 찾아 비용을 절감하였지만 생산성 향상을 통해 기업의 수익을 올리는 식의 방법에 한계를 느꼈던 기업들은 전체 매출액의 약 4%에서 30%로 정도를 차지하는 물류비용에 주목하게 되었다[Ballou, 1992]. 물류정보화 추진 연구로 인한 효율성 극대화 및 물류 생산 라인의 정형화의 이유로 생산비용은 평균화 되고 있으며, 이에 따른 물류비용의 최소화는 기업들의 주요 핵심과제가 되어가고 있다[김동희 외 1인, 2008]. 그러므로 물류비용 최소화를 위한 기업의 물류 거점 결정에 있어서 고객 만족을 위한 방향도 고려하여야 한다. 본 논문은 고정시설물 입지 선정에 있어 과거 지리적, 지역적 위치를 고려하여 환경과 경험의 요인으로서 선정하던 물류 거점을 고객의 요구에 맞춰 현실 상황을 반영하여 효과적 운영이 가능한 물류센터 위치 선정 방법을 제시한다.

고정시설물의 입지를 결정하는 것은 먼저 대안을 설정하고, 시스템을 운영하는데 소요되는 제반비용을 산정하는 순으로 이루어지며, 고정 시설물의 입지결정은 세부적으로 고정시설물의 수, 위치, 그리고 규모를 결정하는 문제이다[석상문 외 1인, 2010]. 일반적으로 시설물 입지 선정 문제(FLP, the facility location problem)는 수송비용과 설비 설치비용의 합을 최소화시키는 방식으로 일련의 시설물들의 위치를 선택하는 문제로 Balinski [1965]에 의해 처음으로 다루어졌다. FLP는 전통적인 최적화 문제로 많은 다양한 시설물 입지 선정 모형들이 개발되었는데, 각 시설물이 공급할

수 있는 능력에 대한 제약을 가지는 경우인 공급 제약을 가지는 시설물 위치 설정 문제(CFLP, the capacitated facility location problem)도 그 중의 하나이다. CFLP 문제를 해결하기 위해 Daskin [1995]은 휴리스틱 접근법들과 최적해법을 포함한 다양한 접근법들을 소개하였다. 본 연구에서 제안하는 방법은 근사 비율을 높이는 휴리스틱 방법인 GOSST(Grade Of Services Steiner Minimum Tree)이론[Xue et al., 2008; Kim et al., 2002]을 적용하여 배송의 효율성을 높여 고객의 요구를 만족시키면서 물류비 절감이 가능한 물류센터 위치를 제시하고자 한다. 이에 따라 SMT(Steiner Minimum Tree)를 이용한 선행연구들을 살펴보면, 먼저 양성덕 외[2008]는 SMT를 이용하여 물류 거점간 거리를 단축시킴으로서 물류거점 사이의 Inbound 비용 단축을 시도하였으며, 김인범 외 [2010]는 SMT를 이용한 연구에 가중치가 반영된 GOSST 이론을 이용하여 연구의 개선을 시도하였다. 하지만 이 두 논문은 우편물 운송을 위한 교환센터만을 대상으로 하여서 실제 배송지에 대한 계산이 포함되지 않았고, Inbound 비용의 절감만 고려된 특수성을 지니고 있어 일반적인 FLP 문제에 적용할 수 없다는 문제점이 있다. 따라서 배송 데이터를 적용한 일반적인 FLP 문제 접근이 필요하다. 본 논문에서는 실제 데이터를 대상으로 배송이 예상되는 지점들을 지리정보시스템에 적용하여 무게중심법 클러스터링 이용한 Outbound 비용 감소와 더불어 GOSST 이론을 이용한 Inbound 비용의 감소가 되는 곳의 거점을 제시하고자 한다. 물류거점의 증가로 인해 지출하는 비용과 고객의 서비스 측면에서 적절한 균형이 이루기 위해 추후 거점을 추가로 증가할 경우를 고려하여 G-Condition을 제시함으로써 선정된 위치에 물류 센터를 설치할 경우 물류 거점간 기하학적으로 가장 짧은 경로를 확보할 수 있게 하면서 동시에 모든 거점에서 배송지 간의 물

류비용 감소시킴으로서 신속한 배송 및 운송비 절감을 통한 비용의 감소와 고객의 만족 향상이 가능할 것으로 기대된다. GOSST 이론은 다양한 전압 및 가중치를 고려한 배전선로망의 최적화, 송배전 시스템의 라우팅, 도로 및 철도, 항로 등에 이용가능하다.

본 연구에서 제시한 물류센터 입지 선정에 따른 전체적인 순서는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 물류센터 입지선정 방법

이후 본 연구의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 본 연구와 관련된 지리정보 시스템과 무게 중심법, GOSST 이론 연구에 대한 내용 및 선행 연구들을 살펴보고, 이후 제 3장은 본 논문에서 제안하는 물류센터 입지 선정 모형을 수립하였다. 또한 제 4장에서는 제안된 방법을 적용한 실험을 수행한 후, 제 5장에는 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 지리정보시스템(GIS)과 무게중심법

지리정보시스템(Geographic Information System)이란 과거 인쇄물 형태로 이용하던 지도 및 지

리정보를 컴퓨터를 이용해 작성·관리 하는 것으로, 지리 공간 데이터를 얻어 그것을 기초로 데이터를 수집·분석·가공하여 다양한 분야에 활용할 수 있는 시스템이다. GIS는 정보기술, 물류에 대한 위치 문제에 있어서 더 정확하고 편리하게 정착 될 수 있는 여러 가지 장점을 가지고 있으며[Zhuang Xiuqin et al., 2008] 이를 이용하면 시스템에 입력된 데이터로 여러 가지 분석이 가능하며 그로부터 계획을 찾을 수 있고 사용자는 대안의 결정의 효율성을 크게 향상시킬 수 있다[Qi Xiangqian, 2008].

배송에 있어서 GIS를 이용하기 위해서는 전자 지도에 사용할 수 있는 데이터가 필요하므로 그에 맞도록 데이터 변환을 실시해야한다. 보통 물류 배송을 하기 위한 배송 데이터는 주소 값을 사용하기 때문에 GIS를 이용하기 위해서는 그에 맞는 좌표계가 필요하다. 이를 위해서는 주소데이터를 전자지도 좌표계로 변환을 해야 한다. 좌표계는 경도, 위도 및 표고 시스템이며 기준점 및 규정에 따라 몇 가지 좌표계로 나뉜다. 본 논문에서는 GIS 및 GPS 시스템을 이용하기 위하여 세계측지 기준계인 WGS84(World Geodetic System84)좌표를 사용한다. WGS84좌표는 미 국방성에서 제작한 GPS위성 체계를 위하여 정의한 것으로서 추후 위성과의 수신을 하는데도 유리하다[Quo Vadis, 2000].

GIS를 이용하면 지도에서 표시되는 위치를 반영하여 물류센터를 선정하거나, 배송을 위한 최적 거리의 설정이 가능하다[Ma Jun et al., 2009]. 본 논문에서 사용하게 될 GIS는 다음과 같은 단계로 구성되어 있다.

- (1) 배송지의 데이터를 이용하여 제품 다수가 필요한 일부 집약적 수요 포인트를 확인하여 수요지점 주변의 상황 및 사용자의 요구에 따라 물류센터에 대한 몇 가지 위

치적 대안을 얻는다.

- (2) 첫 번째 단계를 통해 얻은 대안을 이용하여 각 대안별 물류센터 위치와 수요 지점 간의 거리를 계산한다.
- (3) 대안들 중 물류센터와 수요 지점 간의 거리를 비교하여 가장 효율적인 거리를 가진 지점을 선정한다.

위의 단계를 통해서 우리는 물류센터의 위치 모델을 얻을 수 있으며, 예상되는 배송의 거리를 계산할 수 있다.

거리계산은 GIS의 거리 계산 방법을 사용하였으며 다음과 같다.

<p><b>Procedure</b> GPS 거리 계산</p> <p><b>Initialize</b></p> <p><math>p(A, B) = \text{randpoint}(\text{latitude}, \text{longitude})</math></p> <p><math>q(C, D) = \text{randpoint}(\text{latitude}, \text{longitude})</math></p> <p><b>Iterate</b></p> <p>if((<math>A \equiv C</math>) (<math>B \equiv D</math>))</p> <p style="padding-left: 20px;"><math>Distance = 0;</math></p> <p>elseif</p> <p style="padding-left: 20px;"><math>((\sin A * \sin C + \cos A * \cos C * \cos(B - D)) &gt; 1</math></p> <p style="padding-left: 20px;"><math>Distance = 3963.1 * \text{Arc Cos}(1);</math></p> <p>else</p> <p style="padding-left: 20px;"><math>Distance = 3963.1 * \text{Arc Cos}(\sin A</math></p> <p style="padding-left: 20px;"><math>* \sin C + \cos A * \cos C * \cos(B - D));</math></p> <p>end</p>
--

〈그림 2〉 GPS 거리 계산 Procedure

〈그림 2〉는 GPS를 기반으로 한 거리 계산 프로그램 로직으로 mile의 기준이며 지구 반지름을 3963.1로 하여 계산하였다.

무계중심법(Center of Gravity Method)이란 소속집합의 출력에 대한 등가의 값을 구하는 문제이다. 출력 소속 집합의 최대 단일 값과 각 출력

변수에 소속 값을 곱하여 평균화됨으로 등가 출력 값을 도출함으로 가중치를 부여한다.

전통적으로 CFLP 문제에서 각 지점별 가중치 부여를 위해 가까운 지점끼리 cluster를 만드는 무계중심법을 많이 사용하였다[황인극 외 3인, 2005]. Webster et al.[1995]는 무계중심법 가중치에서 동적프로그래밍 모델(Dynamic Programming Models)을 이용하여 해법을 제시했으며, Revelle et al.[2005]는 휴리스틱(Heuristic)을 이용하여 해결 방안을 제시하였다. 본 논문에서는 무계중심법으로 가중치를 부여하여 휴리스틱 중 하나인 GOSST 이론을 이용하여 문제를 해결해 보고자 한다.

무계중심법의 계산식은 다음과 같다.

$$R = \frac{\sum m_i r_i}{\sum m_i} \quad (1)$$

식 (1)에서  $m_i$ 는 가중치를 나타내며,  $r_i$ 는 기준점으로부터의 상대적 거리를 나타낸다.

## 2.2 Steiner Minimum Tree와 GOSST

Steiner Tree는 네트워크 연결 길이를 최소화하는 문제이다. 평면상의 점들에 대해 특정 점인 S (Steiner Point)를 추가, 연결하여 최소 길이의 트리를 얻을 수 있는 포인트를 찾는 것이다[양성덕 외, 2008]. 또한 여러 개의 노드들을 최소 길이로 모두 연결하는 문제는 성형 토폴로지에서 새로운 하나의 점을 찾아 이것과 다른 입력 노드들과 연결하는 것이다. 또한 여러 개의 스타이너 포인트들을 도입하여 모든 입력 단말 노드들을 연결하는 최단 길이의 네트워크를 찾는 방법이 연구되었는데, 이러한 네트워크를 최소 스타이너 트리(Steiner Minimum Tree)라고 한다[Hwang, 1991; Cockayne et al., 1992]. 이 문제는 NP-Complete

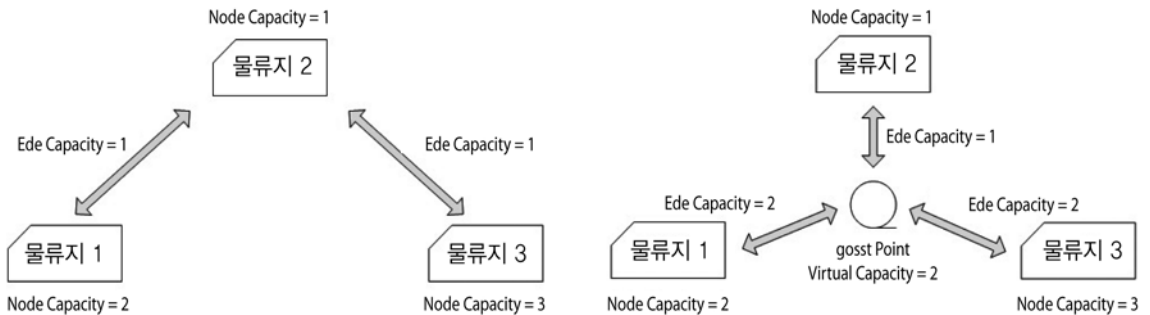
문제에 포함되는 것으로 다항 적 시간 내에 문제에 대한 해를 구할 수 없다[ Hwang, 1991]. 따라서 최소 스타이너 트리 문제는 근사 트리를 구하여 근사 비율을 높이는 연구와 근사 트리를 구하는 휴리스틱에 관한 연구들이 수행되었다. 현재까지 발표된 많은 근사 최소 스타이너 트리를 구성할 수 있는 휴리스틱 중에서 정삼각형의 외접원을 이용하여 스타이너 포인트를 찾는 것이 대표적인 방법이다[Bell, 1999]. 이 방법은 실선으로 연결된 삼각형 ABC의 세변을 외접하는 원에서 Fermat point 즉, S에서 각 변에 대한 원주각이 120°가 되는 지점을 S라 할 때 S를 스타이너 포인트로 정의한다.

GOSST(Grade Of Services Steiner Minimum Tree)문제는 모든 터미널 노드들과 추가되는 gosst 포인트들을 모두 연결하는 최소 비용의 네트워크를 찾는 문제이다. 이 GOSST에서는 임의의 두 노드 사이에는, 두 노드가 요청하는 서비스 등급 중 최소 등급 이상의 서비스를 제공할 수 있는 중간 노드들로 구성된 경로가 한 개 이상 존재해야 한다. 이러한 조건을 G-Condition이라 부른다 [Kim et al., 2007]. 요청 서비스의 등급은 CFLP 문제에서 처리 용량으로 변환될 수 있다. gosst 포인트는 G-Condition을 만족시키는 GOSST를 위해 추가되는 노드들이다. GOSST의 구축비용은 모든 단말노드들을 연결하며 G-Condition을

만족하는 네트워크들 중에서 가장 작다.

<그림 3>에서 보는바와 같이 처리 용량이 각기 다른 세 개의 단말노드 물류지 1, 2, 3이 있다. 각 노드 사이의 용량 제한이 발생하면, 노드 간에 흐름의 제한을 받게 되므로 물류 배송으로 보면 불필요한 추가 배송이 이루어져야 한다. 따라서 이점을 감안하여 용량이 2인 gosst 포인트를 추가하고 터미널 노드 물류지 1, 2, 3에 연결시켜 새로운 네트워크를 구성하는 방법을 제안한다.

이 방법은 처리 용량은 증가하지만 네트워크의 길이 역시 증가할 가능성이 있기 때문에 새로이 생성되어 연결되는 gosst 포인트의 위치를 잘 선택해야 한다. 네트워크의 길이는 줄이면서도 동시에 노드 사이의 흐름에서 각 노드들의 처리 용량을 최대한 활용케 하는 네트워크의 구성이 GOSST 문제의 해가 되는 것이다. GOSST에 관련된 최적화 분야 및 휴리스틱 문제의 자세한 내용은 김인범[2010] 외의 연구에 자세히 설명되어 있다. 김인범[2010] 외는 우편물 이동에 있어서 센터 간의 수송을 고려하여 최적의 교환센터 위치 선정의 방법을 제안하였다. 하지만 배송데이터를 통해 가중치를 부여할 수 없는 한계가 있으며 이에 무게중심법을 혼합하여 배송데이터를 통한 수요 데이터의 가중치가 감안된 교환센터의 위치를 선정하는 방법을 제안한다.



<그림 3> 처리용량에 따른 네트워크 구성

### 3. S사의 물류센터 입지 선정 문제

#### 3.1 배경 및 가정

본 논문에서는 현실세계를 고려한 실험을 위해 국내 기업인 S사의 2008년 미국 배송 데이터를 이용하여 실험을 하였다. S사는 멕시코 등 15개 생산지에서 납품하는 OEM 방식을 가지고 있으며 총 19개의 아이템에 대하여 수출을 하고 있다. 현재 LA와 시카고 두 곳에 물류창고가 있으며 서비스 수준 향상을 위해서는 추가적인 물류 센터가 필요하다.

국내 수출 기업들이 추구하는 방향에 맞춰 다음과 같은 요소를 고려하였다.

- (1) 현재 사용 중인 거점을 고려하여 새로운 거점의 추가
- (2) 비용적인 측면에서 최저 운송비 및 기타 비용 조건에 부합하는 거점을 선택
- (3) 고객 만족 측면에서 고객의 주문이 발생하면 3일 배송을 목표로 하여 경쟁력을 확보
- (4) 각 거점은 현재의 판매 경향과 미래 수요를 고려하여 배송 처리량(용량)을 균등 분배

위 요소를 고려한 대안 설정을 위해 사용된 기본 가정은 다음과 같다.

- (1) 일반적인 물류거점 문제는 법적, 정치적, 사회적 요인 등의 환경요소가 고려되지만 기하학적 가장 짧은 경로 형성만을 고려하여 미국 내 모든 지역이 동일하다고 가정한다.
- (2) 운송수단에 따른 배송 시간은 트럭 운송을 기준으로 시속 50Mile, 8시간 운행으로 보고 하루 400Mile로 계산한다.
- (3) 수출 시스템 물류지로 생산지 공급은 없고

모든 제품은 LA항으로 도착하고 LA항으로부터 각 물류센터로 배송된다고 가정한다.

- (4) 배송지 요구량은 각각의 물류센터가 항상 만족한다고 가정하여 재고고갈로 인한 손실은 고려하지 않는다.
- (5) 실 데이터 기반 총 19개의 아이템에 대하여 고정비는 실제 발생 비용으로 계산하며 운송비는 단위당 운송비용을 거리로 곱한 값으로 한다.
- (6) 서비스 제약 조건은 95% 이상 만족해야한다.
- (7) 대안 설정 및 평가는 발생비용, 물류센터의 점유비율을 고려한 처리량, 서비스수준을 고려한 배송일로 한다.

#### 3.2 수리모형 수립

본 연구에서는 Van Roy[1986]가 제시한 제한 용량이 있는 설비 입지결정문제(Capacitated Facility Location Problem : CFLP)로 입지선정에 필요한 기본 수리모형을 수립하였고, 여기에 비용 절감을 위한 물류센터 최소화 및 서비스 수준을 고려한 Service Distance Constraint의 제약조건을 추가하여 서비스수준이 고려된 단일 시설물 공급 제약을 가지는 시설물 위치 설정 문제(Service Distance Constraint, the Single Source Capacitated Facility Location Problem : SSSCFLP)로 S사의 물류센터 입지선정에 관련된 추가적인 제약사항을 반영하였다.

Objective function

$$Min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l c_{jk} z_{jk} + \sum_{j=1}^m f_j a_j + \sum_{k=1}^l f_k b_k \quad (2)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^m y_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^l z_{jk} = 1, \quad j = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n d_i y_{ij} \leq s_j a_j, \quad j = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^m d_j z_{jk} \leq s_k b_k, \quad k = 1, \dots, l \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} \leq (1-v)n_j \quad (7)$$

$$a_j \in 0, 1, \quad j = 1, \dots, m \quad (8)$$

$$b_k \in 0, 1, \quad k = 1, \dots, l \quad (9)$$

$$y_{ij} \in 0, 1, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m \quad (10)$$

$$z_{jk} \in 0, 1, \quad j = 1, \dots, m, \quad k = 1, \dots, l \quad (11)$$

$$T_{ij} \in 0, 1, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \quad (12)$$

[결정변수]

$$a_j = \begin{cases} 1, & \text{물류센터 } j \text{가 후보지로 선정} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b_k = \begin{cases} 1, & \text{하역지 } k \text{에서 물류공급시} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{배송지 } i \text{가 물류센터 } j \text{에 할당} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$z_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{물류센터 } j \text{가 하역지 } k \text{에 할당} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$T_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{otherwise} \\ 0, & \text{서비스 제약 조건내 배송} \end{cases}$$

모형 설정을 위해 사용한 기호와 수리모형은 다음과 같다.

$n$  : 배송지수

$m$  : 물류센터 후보 입지수

$l$  : 하역지수

$i$  : 배송지를 나타내는  $\in dex$ , where  $i = 1, 2, \dots, n$

$j$  : 후보 물류센터 입지수, where  $i = 1, 2, \dots, m$

$k$  : 하역지를 나타내는  $\in dex$ , where  $i = 1, 2, \dots, l$

$c_{ij}$  : 임의의 거점( $i, j$ )에 해당하는 수송비용

$f_j$  : 임의의 거점(물류센터 또는 하역지)을 이

용할 경우의 고정비용

$d_i$  : 배송지  $i$ 의 수요량

$s_j$  : 거점(물류센터 또는 하역지)  $j$ 의 처리능력

$dist$  : 거리

$T$  : 물류지에서 배송지까지 배송

$v$  : 주어진 parameter

$n_j$  : 임의의 물류센터  $j$ 에 할당된 배송지 집합

목적함수식 (2)에서 배송지가 발생되면 가장 가까운 물류센터와 최초 물류 공급지로부터 할당되는 물류센터가 선정 된다. 제약식 (3)과 (4)은 배송지와 물류센터가 각각 하나의 물류센터와 최초 물류 공급지에서 물류를 배송 받아야 한다는 것을 나타내는 제약식이며, 식 (5)와 식 (6)은 선택된 곳에 할당되는 요구량이 공급량을 초과할 수 없음을 나타내는 제약식이다. 물류의 이동은 최초 공급지(수입 물류의 경우 하역지)에서 물류지로, 다시 물류지에서 소비자가 원하는 배송지로 배송이 된다. 식 (7)은 서비스 제약에 관한 식으로 물류지로부터 배송지의 배송시간이 서비스 수준의 제약조건 내에 완료되어야 되는 조건에 관한 제약식이다. 예를 들어 3일 이내 배송완료의 조건이 추가된다면  $T \leq 3$ 이어야 하며 3일 이내 배송이 95% 이상 성립해야한다면 조건변수  $v$ 는 0.95가 되는 것이다. 모든 배송이 서비스 조건에 만족한다면 문제가 발생하지 않지만 조건 내에 충족을 못하는 곳에 소수의 배송 요구량이 발생하는 이유로 물류센터가 늘려나가게 된다면 기업의 입장에서 큰 손해를 보게 된다. 따라서 소수의 배송지는 서비스 조건을 충족시키지 못해도 되는 제약식을 추가하여 수식에 반영하였다.

위의 수리모형은 CFLP 문제의 확장으로 물류센터의 위치가 확정되었을 시 최소 비용 계산이 가능하지만 물류센터의 위치를 결정하는 것에 있어서 적용상의 한계점이 있기 때문에 무계중

심법을 기반으로 한 GOSST이론을 이용한 해법을 S사의 사례연구를 통해 제시하려 한다.

## 4. GOSST이론을 이용한 S사의 물류센터 입지선정

### 4.1 물류센터 위치 선정

본 논문에서는 Ma Jun[2009] 외가 제안한 지리 정보시스템과 가중 스타이너트리를 이용한 물류센터 위치 선정에 무게중심법과 GOSST이론을 혼합한 새로운 물류센터 위치 선정 방법을 제안한다. 제안한 모델은 웹 프로그래밍 언어인 PHP 함수 기반의 Javascript로 구현하였으며, GIS 구현을 위해 Google map과 Google Open API를 사용하였다. 컴퓨터 환경은 Intel Core I5-460M, 4G Ram, 1G VGA의 PC에서 실험을 하였다.

가중치 부여 방법은 무게중심법을 사용하였으며 물류센터를 기준으로 Outbound비용을 감소하기 위한 목적으로 사용하였다. 각 배송 데이터로부터 최초 배송지의 가중치는 1로서 모두 동일하다고 가정하였으며 본 논문에서의 연결점 선정 방법은 다음과 같다.

- (1) 동일지점 데이터는 숫자만큼 가중치 부여
- (2) GIS에서 가까운 지점을 우선으로 가중치를 지닌 새 지점 설정 및 기존 지점의 삭제
- (3) 설정 거리 상 만족하는 데이터가 더 이상 없을 때까지 반복

이에 따라 프로그램 함수를 정의한다.

<그림 4>는 무게중심 클러스터링으로 모든 지점으로부터 각 지점 사이의 거리 중 가장 가까운 지점을 찾아 우선적으로 클러스터링 하며, 각 지점에서 가장 가까운 지점이 설정 거리를

**Procedure** 무게중심법

**Initialize**

$a$  : 배송지 최초지점

$b$  :  $a$ 로부터 가장 가까운 배송지

$c$  : 새로운 가중치를 가진 생성지점

$w_a, w_b, w_c$  :  $a, b, c$ 의 가중치

$D_{set}, D_{ab}$  : 설정거리  $a$ 에서  $b$ 까지 거리

$$m_i = \frac{j}{w_a + w_b}, \quad i = a, b, j = w_a, w_b$$

$r_i$  =  $a$ 에서의 거리,  $i = a, b$

**Iterate**

$R = each(a);$

for all  $D_{ab} \leq D_{set}$

if  $\min D_{ab}$

$c = a$ 에서  $ab$  직선거리 상  $\frac{\sum m_i r_i}{\sum m_i}$  만큼의 위치

$$w_c = w_a + w_b; \quad a, b, w_a, w_b = null;$$

**end for**

<그림 4> 무게중심법 Procedure

넘어서면 종료하는 함수로서 새로운 가중치를 가진 지점이 생성되면 기존 가중치와 지점은 null 값을 가짐으로서 삭제된다.

실험데이터(Input Data)는 19개 제품의 약 10만개 아이템으로 <그림 5>와 같고, 적용된 데이터를 기반으로 <그림 6>과 같이 총 8곳의 무게중심 지점을 선정하였다.



<그림 5> 미국 배송 데이터

<그림 6>에서 나타나는 포인트 크기는 가중치이며 이로서 얻어진 지점으로부터 GOSST이론을 이용하여 물류 거점으로 적합한 위치를 찾



고 각각의 위치가 가지게 되는 장점에 따라 4가지 대안을 선정하였다.



〈그림 6〉 무게중심법 적용 데이터

물류센터 위치를 찾고, 최초 Input Data와 거점 간의 매칭 확인을 위해 제안하는 방법은 다음과 같다.

- (1) 무게중심법 클러스터링에 대하여 설정기준에 따른 각 대안별 GOSST를 작도하고 현재 기준인 LA와 시카고를 포함한 거점 선정
- (2) 각 대안 별 거점들과 Input Data를 연결하는 노드 생성
- (3) 모든 Input Data를 대상으로 각 거점과 거리를 Brute Force 방법으로 확인하여 최소 거리에 위반되는 노드들을 찾음

- (4) 위반된 노드에 대해 거점과 최소 거리의 새로운 노드를 생성하고 위반된 노드를 삭제
- (5) 각 거점 간의 GOSST와 거점 별 배송 노드 생성

#### 4.2 각 대안 별 결과 분석

대안은 각각 물류비 감축, 처리량 우수, 서비스 수준 우수, 당일배송 및 배송비 절감의 장점을 가지며, 서비스 수준(각 거점에서 배송 장소까지 걸리는 시간)은 가정에 따라 400Mile까지는 1일 내 배송, 600Mile까지는 2일내 배송, 800Mile까지는 3일내 배송 등으로 계산 하였다[황인극 외 3인, 2005]. 물류비 감축이 장점인 대안 1은 서비스 수준을 만족하는 최소의 거점 증가를 기본 가정으로 두고 물류지에서 배송지로의 배송 거리를 단축시킴으로서 최소 배송 비용이 발생하도록 하였다. 대안 2는 각 물류지가 처리해야 할 배송 처리량이 고르게 발생하는 지점을 선택함으로써 센터의 효율성을 높이고자 하였다. 배송에 걸리는 시간을 단축시키는 목적으로 대안 3을 선정하였으며 비교를 위해 당일 배송이 가능한 최초의 무게중심법 적용 데이터를 대안 4로 하였다.

〈표 1〉 대안 별 분석 결과 요약 표

장점	지역지	물류 센터 수	평균 배송 거리(Miles)	평균 배송일 (Day)	근접 물류센터 (퍼센트 처리량)			
현재 기준		2개	840.417	3.20	San Pedro, CA(24)	Chicago, IL(76)	-	-
대안 1 물류비 감축	LA항	3개	702.408	2.51	San Pedro, CA(15)	Chicago, IL(75)	Boulder, WY(10)	-
대안 2 처리량 고려			716.935	2.58	San Pedro, CA(24)	Chicago, IL(41)	Mckenzie, TN(35)	-
대안 3 서비스 수준 고려		4개	491.962	1.46	San Pedro, CA(23)	Chicago, IL(22)	Madison, MS(25)	Lancaster, PA(30)
대안 4 당일배송, 배송비 절감		8개	380.907	0.95	San Pedro, CA(13)	Chicago, IL(22)	Natalia, TX(10)	Sylacauga, AL(19)
					Safford, AZ(4)	Killingworth, CT(24)	Lewiston, ID(5)	Killdeer, ND(3)

이에 따라 선정된 대안들의 결과 요약은 <표 1>과 같다. 근접 물류센터는 각각의 배송을 실제 처리하게 되는 가까운 물류센터로서 전체 물류량의 퍼센트를 나타내고 있다.

비용은 창고관리비, 인건비, 핸들링비 등 관련된 모든 물류비를 고려하여 계산하였으며 <표 2>는 현 거점구조 대비 총 물류비의 증가를 보여준다.

<표 2> 운영비용 비교 결과

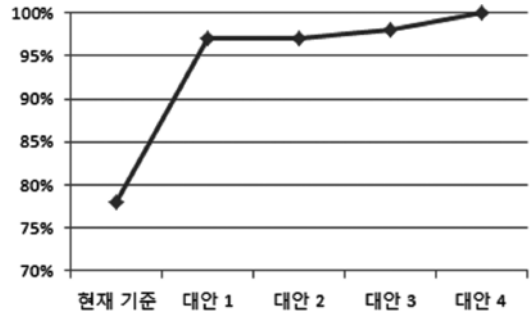
(단위 : 백만\$)

거점	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4
공급 비용 증감	+0.90	+0.92	+1.90	+3.72
배송 비용 증감	-0.89	-0.34	-2.50	-3.30
센터 운영 비용 증감	+1.53	+1.54	+3.08	+4.79

<표 1>과 <표 2>를 통해 알 수 있듯이 대안 1은 비용적인 측면에서 효과적이지만 시카고 거점에서 처리해야할 처리량이 많기 때문에 센터 운용에 효율적이지 못하다. 따라서 공급 물류상의 제약이 발생할 수 있는 위험 부담을 갖게 된다. 반면에 대안 2는 대안 1에 비해 비용은 더 들지만 처리량이 고르기 때문에 공급 물류상의 위험 부담이 적다. 대안 3은 처리량도 고르고 배송 비용 절감도 탁월하다. 하지만 물류 거점 증가로 인해 거점간의 거리가 증가하게 되고 이에 공급 비용이 증가하게 되며 센터 수의 증가로 인한 운영비가 증가한다. 공급과 배송 비용에 비해 상대적으로 센터 운영비용의 증가가 큰 폭으로 상승하므로 센터의 개수가 증가될수록 전체 비용은 크게 상승하여 경제성이 떨어진다. 대안 4는 서비스 수준만을 고려하면 가장 효과적이지만 다른 대안들에 비해 비용측면에서 효율성이 크게 떨어진다.

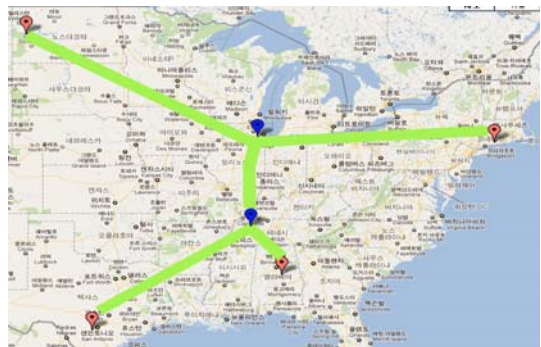
고객 만족 측면에서의 서비스 수준은 3일 이내 배송을 목적으로 하며 <그림 7>과 같다. 현

제 네트워크 구조에서 3일 이내 배송 가능 지역은 전체의 78% 수준이다.



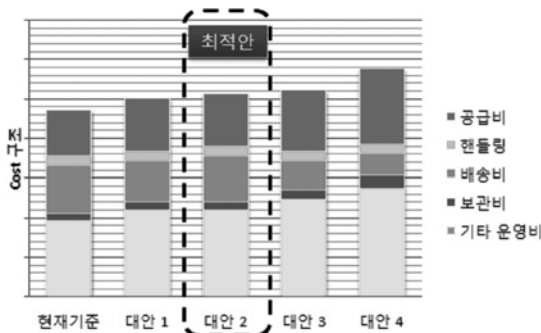
<그림 7> 3일 내 배송 가능 지역

모든 대안이 95% 이상의 서비스 개선 효과를 보이고 있으므로 각 대안은 가정에서 제시한 서비스 수준을 만족시키고 있다. 3일 이내 배송을 목적으로 했을 시 하나의 거점이 증가된 대안 2와 3의 경우 약 19%의 증가를 보이지만, 대안 3과 4는 대안 1, 대안 2에 비해 서비스 개선 효과가 미미하다. 따라서 3일 이내 배송이라는 현 시점에서의 경제성은 3개의 거점이 가장 효율적이라 할 수 있다. 센터의 수가 증가될수록 서비스 수준은 좋아지며, 각각 배송지의 배송 시간은 크게 단축되기 때문에 센터의 개수가 증가되면 서비스 수준은 올라감으로 거점 수를 결정할 때는 비용과 서비스 수준이 적절히 고려된 대안을 선택해야한다.



<그림 8> GOSST를 이용한 동부지역의 물류거점

현재의 2곳의 거점으로는 고객이 요구하는 서비스 수준을 만족시키지 못하고 배송 처리량의 불균형으로 인하여 불필요한 비용이 증가하는 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 선정된 4가지 대안 중 대안 2가 최적 대안으로 선정되었는데, 최종적인 결과는 <그림 9>와 같다.



<그림 9> 각 대안 별 비용

첫 번째 대안의 경우 비용 면에서 대안 2보다 좋은 결과를 제시하였지만, 처리량과 서비스 수준면에서 부족하였고, 대안 3은 서비스 수준이 우수하지만, 거점 수의 증가로 인한 부담 및 비용 측면이 부족하다. 서비스 수준이 당일 배송일 때 대안 4가 좋지만 현 조건으로 가장 우수한 대안 2를 최종 대안으로 선정하였다.

### 5. 결 론

본 연구는 스타이너 트리를 이용한 시설물 입지 선정 문제 연구의 일반화 과정으로 단순 센터 간의 수송만을 고려하지 않고, 배송데이터를 통한 수요 데이터의 가중치를 감안한 교환센터의 위치를 선정하는 방법을 제안하였다. 송전계통의 routing, 배전선로망의 최적화 등에 이용되고 있는 Steiner Tree 이론을 기반으로 무게중심법을 이용하여 가중치를 부여하였으며, 가중치를 적용

할 수 있는 GOSST이론을 물류센터 선정에 이용하였다. S사는 3일 이내 배송이 78%에 불과했으며 이에 서비스 수준 개선을 위해서는 추가적인 물류 거점이 필요하다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 몇 가지 대안들을 설정하였고, 이 대안들의 설정과정 및 분석을 위해 지리정보시스템을 이용하여 배송지 데이터를 통한 지점의 가중치를 부여하고 무게중심법을 이용하여 Outbound 비용을 절감시키고자 하였고, GOSST이론을 이용한 거점 간의 최단거리를 확보함으로써 Inbound비용을 절감시키려 하였다. 선정된 4가지 대안 중 2번째 대안이 최적 대안으로 선정되었는데, 이 대안의 경우 약 15%의 배송비를 절감할 수 있었으며, 3일 이내 배송이 현재 기준의 78%에서 97%로 19%의 향상을 보였다.

본 연구는 S사의 실제 데이터를 통해 실험을 하였으며 실용적인 문제해결을 위한 방법을 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 실험결과 제안된 방법으로 선정된 위치에 물류센터를 설치할 경우, 센터 간 기하학적으로 가장 짧게 연결하는 경로를 확보할 수 있을 뿐만 아니라, 센터에서 각 배송지로의 운송비 절감 및 서비스 수준 향상을 통한 개선이 가능할 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 김동희, 안경림, “국가물류정책 및 물류정보화 현황과 시사점”, *대한안전경영과학회 춘계 학술대회*, 2008, pp. 373-382.
- [2] 김인범, 김준모, “GOSST를 이용한 우편물 교환센터의 가중치 반영 최적 위치의 선정”, *전자공학회 논문지*, 제47권 제11호, 2010, pp. 884-890.
- [3] 석상문, 이상욱, “물류 센터 위치 선정 및 대리점 할당 모형에 대한 휴리스틱 해법”,

- 한국콘텐츠학회논문지, 제10권 제9호, 2010, pp. 107-116.
- [4] 양성덕, 유용규, 이상중, “Steiner Tree 이론을 이용한 우편물 교환센터의 최적 위치선정”, *한국 조명 전기 설비학회 논문지*, 제22권 제9호, 2008, pp. 82-87.
- [5] 황인극, 정락채, 이동주, 김진호, “GIS 기법을 이용한 국내기업의 미주물류거점 및 설비입지 선택전략 : 사례분석”, *대한설비관리학회지*, 제10권 제3호, 2005, pp. 69-79.
- [6] Balinski, M. L., “Integer Programming : Methods, uses, computations”, *Management Science*, Vol. 12, No. 3, 1965, pp. 253-313.
- [7] Ballou, R. H., *Business Logistics Management*, (3rd ed), Englewood cliffs, NJ : Prentice Hall, 1992.
- [8] Bell, B., “Steiner Minimal Tree Problem”, <http://cse.taylor.edu/~bbell/steiner/>, 1999.
- [9] Cockayne, E. J. and Hewgrill, D. E., “Improved computation of plane Steiner minimal tree”, *Algorithmica*, Vol. 7, No. 1-6, 1992, pp. 219-229.
- [10] Daskin, M., *Network and discrete location models, algorithms and applications*, Wiley, New York, 1995.
- [11] Hwang, F. K., “A Primer of the Euclidean Steiner problem”, *Annals of Operations Research*, Vol. 33, No. 1, 1991, pp. 73-84.
- [12] Kim, I. and Kim, C., “An Enhanced Heuristic Using Direct Steiner Point Locating and Distance Preferring MST Building Strategy for GOSST Problem”, *IJCSNS*, Vol. 7, No. 2, 2007, pp. 164-175.
- [13] Kim, J., Cardei, M., Cardei, I., and Jia, X., “A Polynomial Time Approximation Scheme for the Grade of Service Steiner Minimum Tree Problem”, *Journal of Global Optimization*, Vol. 24, No. 4, 2002, pp. 437-448.
- [14] Ma Jun, Shi Zhanjiang, Wei Chunli, Yang Lingyun, and Wang Yake, “Study on Location-selection of Logistics Distribution Center Based on GIS and Weighted Steiner Tree”, *International Forum on Computer Science-Technology and Applications*, 2009, pp. 326-329.
- [15] Qi Xiangqian, “Application of GIS space analysis in the choosing of supermarket site”, *Science of Surveying and Mapping*, Vol. 33, No. 6, 2008, pp. 223-225.
- [16] Quo Vadis, “FIG Fact Sheet 5.501-The World Geodetic System of 1984 (WGS84)”, *International Conference*, 2000, pp. 21-26.
- [17] ReVelle, C. S. and Eiselt, H. A., “Location analysis : A synthesis and survey”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 165, 2005, pp. 1-19.
- [18] Van Roy, T. J., “A cross decomposition algorithm for capacitated facility location”, *Operations Research*, Vol. 34, No. 1, 1986, pp. 46-63.
- [19] Webster, S. and Gupta, A., “The general optimal market area model with uncertain and nonstationary demand”, *Location Science*, Vol. 3, No. 1, 1995, pp. 25-38.
- [20] Xue, G. L., Lin, G. H., and Du, D. Z., “Grade of Service Steiner Minimum Trees in the Euclidean Plane”, *Algorithmica*, Vol. 13, No. 4, 2008, pp. 479-500.
- [21] Zhuang Xiuqin and Wei Dongxue, “The analysis of Location selection for commercial net based on GIS”, *Commerce Modernization*, Vol. 12, No. 560, 2008, pp. 1-2.

## ■ 저자소개



### 오 성 록

고려대학교에서 학사학위를 받았으며 현재 고려대학교 산업경영공학과 석사과정 중이다. 주요 연구 관심분야는 GIS, Steiner Tree, 물류정보 시스템, Heuristic

등이다.



### 차 주 일

고려대학교 공학대학원에서 공학석사를 취득하였으며, 현재 삼성 SDS 수석 전자 물류 그룹장으로 재직 중이다. 주요 연구 관심분야는 물류 관리 및 정보

시스템, SCM 등이다.



### 김 연 진

현재 고려대학교 정보경영공학과 박사과정 중이다. 주요 연구 관심분야는 Discrete Event Simulation, MCDM, DEA, SCM, Meta-Heuristic 등이다.



### 이 흥 철

고려대학교에서 공학사를 취득하였고, 미국 University of Texas에서 공학석사를 취득하였으며, Texas A&M University에서 공학박사학위를 취득하였다. 현재 고려대학교 산업경영공학과 정교수로 재직 중이며, 주요 연구 관심분야는 SCM, 생산 및 물류 정보시스템, PLM 등이다.