■ 論 文 ■

# 퍼지이론을 이용한 물류단지 입지 및 규모결정에 관한 연구

Applications of Fuzzy Theory on The Location Decision of Logistics Facilities

**이 승 재**
(서울시립대학교 교통공학과 조교수)

**정 창 무**
(서울시립대학교 도시공학과 교수)

**이 헌 주**
(서울시립대학교 교통공학과)

## 목 차



## 요 약

기존모형을 이용한 연구들은 최적화기법에 있어서 의사결정을 지원할 수 있는 최적해를 도출해내기 위해 목적식이나 제약조건식에 정확한 데이터값을 입력시켜 최적해를 계산하였다. 또한 현실세계의 불확실하고 주관적인 상황들은 확률적 불확실성으로 간주하여 주관적인 상황들은 배제하였다. 즉 이러한 최적해는 의사결정자가 의사결정상의 위험을 최소화하기 위하여 경영과학적인 방법들을 적용하는 과정에서 기존모형들의 목적함수를 완전하게 만족시켜 주는 해라고 할 수 있다. 이에 따라 수요량의 변화 및 기타 변수들의 변화에 적절히 대응할 수 없었으며, 입지의사결정자에게 입지결정에 대한 정보의 부족 등으로 선택의 기회를 폭넓게 제공하지 못하는 문제가 있었다.

이러한 배경하에서 본 연구는 의사결정분석에서 엄격히 주어진 제약조건하에서의 목적식을 최적화하는 문제로서 제약조건을 반드시 만족시켜야만 했던 기존의 의사결정문제를 바탕으로, 애매한 환경에서의 의사결정을 주관적인 측면에서 가장 합리적으로 이루어 보려는 의도로 Zadeh교수가 제안한 퍼지이론을 이용하여 물류단지 입지 및 규모결정모형을 개발하고자 하였다.

모형의 현실적 적합성 및 적용가능성을 분석한 결과, 첫째, 입지 및 규모결정시 기존의 연구에서 제시할 수 없었던 현실세계의 유연적이고 융통성있는 측면을 반영하여 입지 및 규모를 결정해 낼 수 있었으며 둘째, 기존의 입지결정 모형에 비해 상대적으로 많은 의사결정 상황을 최종의사결정자에게 다양한 정보 및 선택의 기회를 제공해 줄 수 있었다.

따라서 이 결과가 반드시 최적의 입지를 제시하고 있다고는 단정할 수 없으나 모든 자료들이 빠짐없이 정확하게 모형에 반영될 경우 현실적 상황에서 모형적용이 가능하다고 하겠으며 이 모형은 현실상황에서 발생하는 기타시설의 입지선정 문제에도 적용할 수 있을 것이라고 판단된다.

# Ⅰ. 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

어떤 시설의 입지를 선정하거나 규모를 결정하기 위한 의사결정은 목적함수나 제약조건들을 완전하게 만족시키기 위해 정확한 데이터값들을 입력시켰을 때만이 최적해를 계산해 낸다. 그러나 현실의 많은 의사결정들은 목표와 제약조건결과들을 정확하게 알 수 없는 상황에서 이루어지며 의사결정의 대상인 현실세계 역시 가변적이고 불확실한 현상들로 이루어진다. 이처럼 의사결정은 불확실하거나 애매모호한 부분에 대해서 분석가의 주관이 내재되어 평가함으로서 다양한 효과와 긍정적·부정적 영향에 대한 객관적인 평가를 어렵게 하며 평가결과에 대한 신뢰성도 저하시키고 있다.

따라서 이러한 배경하에서의 본 연구의 목적은 제약조건을 반드시 만족해야만 했던 기존의 입지 및 규모결정에 관한 의사결정문제를 바탕으로, 애매한 환경에서의 의사결정을 가장 합리적으로 이루어 보려는 의도에서 퍼지이론을 이용하여 물류단지 입지 및 규모결정 모형을 개발하고자 한다. 또한 모형의 현실적 적합성 및 적용가능성을 검토하기 위해 혼합정수계획모형과 퍼지개념을 도입한 퍼지혼합정수계획모형에 사례분석을 통한 비교와 평가분석으로 현실적 상황에서의 적용가능성을 판단하고자 한다.

## 2. 연구의 특성 및 방법

기존연구와의 차이점인 본 연구의 특성은 불확실하고 애매한 환경에서의 의사결정을 가장 합리적으로 도출할 수 있는 모형을 개발하는 것이다. 현실적으로 특정수치로 정의하는 것이 애매하거나 불확실한 상황이 지배적인 경우 퍼지이론을 적용하면 다음과 같은 잇점이 있다.

첫째, 인간의 지식을 있는 그대로 처리할 수 있다.

둘째, 인간의 애매한 특성의 반영이 가능하다.

셋째, 복잡한 과정을 단순하게 기술할 수 있어 시간과 비용을 절약할 수 있다.

본 연구에서 제시하는 방법론은 기존연구에서 연구된 결과를 준거로 하여 입지와 규모가 동시에 결정되도록 일반적인 혼합정수계획모형을 정립한 후 퍼지이론을 이용하여 퍼지최적화로 변환된 퍼지혼합정수계획모형을 개발하는 것이다. 또한 현실적인 적용가능성을 판단하기 위해 사례지역을 통하여 개발된 모형을 실행평가한다. 입력된 자료들을 분석하기 위한 모형실행에 사용되는 프로그램은 범용선형계획패키지인 LINDO 6.01을 이용한다.

# Ⅱ. 기존연구의 고찰

기존연구의 고찰은 본 연구에서 적용될 수리계획법, 특히 혼합정수계획법을 이용한 입지 및 규모결정에 관한 기존연구들을 살펴본 다음 퍼지이론을 이용하는 것을 문제의 제기로 하였다.

## 1. 기존모형을 이용한 연구의 고찰

한수희(1994)는 입지와 경로문제를 동시에 고려하여 물류비용을 최소화하는 알고리즘을 개발하였으며 수요의 변화 및 재고비용 등 변동비용의 변화에 적절히 대응할 수 없는 것이 한계점으로 지적되고 있다. 권오근(1994)은 수요량변동에 따른 배송센터와 수요지간의 배송경로의 변화에 관한 모형을 개발하였으나 다양한 배송차량 적재용량에 대한 배송경로의 변화 등에 대한 문제가 있다고 하겠다.

홍순태(1996)는 분배센터 시스템의 총비용최소화를 결정요소로 하는 수정모형을 개발하여 준거모형과 수정모형을 비교·분석하여 수정모형의 타당성과 유효성을 평가하였으며 입지의사결정시 정보의 부족으로 인한 완전한 최적해를 도출하는데는 어려움이 있다고 지적하고 있다. 권혁준(1998)은 생활권집배송센터의 입지선정을 위해 혼합정수계획모형을 개발하여 개선된 물류체계하에서의 절감된 수송비용과 생활권집배송센터의 설치에 따른 추가비용을 고려하여 설치타당성을 검토하였다.

Balinski(1963)는 최적모형의 하나인 혼합정수계획법을 적용시켜 최초로 입지문제를 해결하였으며 문제해결과정에서 계산의 규모를 줄이는데 부분적인 Benders의 정리를 이용하였다. Land와 Doig(1963)은 혼합정수계획법을 이용한 입지문제의 해법에서 계산시간의 단축과 문제규모의 축소를 위하여 최초로 Branch & Bound(B&B)방법을 개발하였다.

Burenes와 White(1970)는 외판원 입지선정문제와

관련하여 LRP(Location Routing Problem)문제를 연구하였으며 입지선정 문제안에 TSP(Traveling Salesman Problem)가 서브프로그램으로 활용되었다. Or와 Pierskalla(1979)는 혈액을 병원에 수송하기 위하여 혈액은행 위치설정을 위한 수송입지 및할당모델(Transportation Location-Allocation)을 모형화했다. Perl과 Daskin(1984)은 통합된 관점에서 배송센터 입지설정 및 차량순회문제를 제시하였으며 LRP문제를 MIP(Mixed Integer Problem)로 모형화하여 발견적 알고리즘을 제시하였다.

### 2. 문제의 제기

앞에서 살펴본 기존모형을 이용한 연구들은 입지를 선정하거나 규모를 결정하기 위한 의사결정은 목적함수나 제약조건식들을 완전하게 만족시키기 위해 정확한 데이터값들을 입력시켰을때만 최적해를 도출했다. 이러한 최적해는 총비용을 최소화하는 목적함수의 수송비용 및 건설비용의 변화에 적절히 대응할 수 없으며 또한 제약조건식의 수급량의 변화에도 대처할 수 없는 문제점이 있다.

정광조(1993)는 이러한 변화 등에 대한 대응기법으로 유의도, 확신도, 민감도분석 등의 통계적 방법들이 사용되지만 이 기법 역시 한계점이 있다고 지적하고 있다.

본 연구에서는 첫째, 목적함수식의 비용함수를 '어느 정도 비용만 들면 좋은가'라는 만족도 기준으로 표현하여 분석하려고 하며, 둘째, 제약조건식의 수요량과 공급량을 완전히 만족시켜 주는 수급관계를 벗어나 물량의 한계량을 피하고 '어느 정도 제약을 이탈한' 실행가능해를 얻고자 하는 것이다.

따라서 불확실하고 애매한 환경에서의 이러한 문제를 어느 정도 해결해 줄 수 있는 퍼지이론(Fuzzy Theory)을 이용하여 물류단지 입지 및 규모결정모형을 개발하기 위함이다.

### 3. 퍼지이론을 이용한 연구의 검토

손기복(1994)은 교통투자사업 중에서도 도시철도 노선대안의 평가에 퍼지적분을 이용하여 평가방법을 설정하고 평가항목별 중요도를 설문조사를 통해 도출한 후 대전시의 도시철도 노선평가시 정립된 방법론의 현실적 적합성을 검토하였다. 김대종(1995)은 공간정보의 불확실성을 의사결정과정에 내포할 수 있는 퍼지이론을 적지분석이라는 의사결정과정에 적용하여 부울논리와 퍼지논리에 따라 공간의사결정과정이 어떻게 달라지는가를 춘천시 첨단산업기지를 사례지역으로 적지분석을 비교·분석하였다.

Bhattachary와 Rao와 Tiwari(1992)는 평면상으로 둘러싸인 어떤 도시를 선정할 때 퍼지목표계획모형을 적용하여 알고리즘을 개발하였다. 개발된 방법론은 유클리드 기하학과 같은 표준의 경우 등에 광범위하게 적용될 수 있다. 또한 1993년의 연구에서는 모든 운송비용의 합을 최소화하는 것과 입지들에서 수요지까지의 최대거리를 최소화하는 것을 동시에 만족하는 볼록다각형으로 경계지워진 평면상에 다수의 새로운 입지를 선정하는데 퍼지목표계획모형을 적용하였다.

Plamen과 Angelov(1997)는 불확실성하의 최적화문제라는 새로운 개념을 도입하였으며 직관적인 퍼지최적화(IFO)문제를 크리습(비퍼지)문제로 변환하여 문제의 해를 해결하였다. Chang과 Chen과 Wang(1997)은 지자체의 고체 쓰레기 관리를 위해서 단일목적계획과 다목적계획 가운데 택일하기 위한 다양한 결정론적인 수리계획모형을 발전시켰다. 이 연구는 대도시지역에서 고체쓰레기 관리를 위한 관리전략의 평가를 위하여 퍼지간격다목적혼합정수계획모형을 적용하였다.

## Ⅲ. 퍼지이론을 이용한 모형의 개발

이 장에서는 최적입지 및 규모를 결정하기 위하여 일반적인 혼합정수계획법모형을 정립한 후 퍼지이론을 이용하여 퍼지최적화로 변환한 모형을 개발하였다.

### 1. 기본방향

본 연구는 물적 흐름이 서울시내부↔물류단지↔서울시외부지역의 세 단계를 거치는 중간 경유지로의 물류거점이 고려되는 입지 및 규모를 동시에 결정할 수 있는 모형을 정식화한다. 이 경우 물류단지 입지 및 규모결정 모형을 정립하기 위한 가정조건은 다음과 같다.

첫째, 물류비의 가장 큰 부분을 차지하고 있는 운

송비와 건설비를 최소화시키는 지점에 물류단지를 입지시킨다. 단, 보관비, 선·하적비, 운영유지비 등은 단지간에 큰 차이가 없는 것으로 전제하여 시스템의 총비용에는 제외하도록 한다. 둘째, 수송비의 산정기준은 여러 가지 방법이 있을 수 있으나 본 연구에서는 수송거리를 기준으로 산정한다(경기개발연구원, 1997).

이상의 가정조건을 전제로 하여 활용한 입지 및 규모결정 모형은 서울시(1998)의 연구에서 제시된 2011년 서울시 화물발생·도착량을 기초자료로 활용한다.

## 2. 혼합정수계획법에 의한 모형의 정립

### 1) 목표설정 및 변수의 선정

물류단지의 입지선정을 위한 모형의 목표는 전체 화물수송체계의 운송비 및 건설비를 최소화하는 지점에 입지 및 규모가 결정되도록 하는 것이다.

혼합정수계획모형에 사용되는 변수는 연속변수(continuous variables)와, 입지결정변수(location variables)이다. 연속변수는 실수로 표현되며 네트워크상에서 전체수송비를 최소화하는 최적경로를 통하여 흐르는 화물량을 나타낸다. 입지결정변수는 이진변수(binary value)로서, 물류단지 입지로 결정되면 '1'로, 그렇지 않으면 '0'으로 표현된다.

### 2) 모형의 정립

최적입지 및 규모를 결정하기 위한 모형의 함수식으로 화물량의 흐름에 따라 발생하는 비용요소, 즉 서울시외지역↔물류단지간의 운송비용, 서울시내지역↔물류단지간의 운송비용, 단지건설에 소요되는 건설비용을 합한 총비용을 최소화하도록 모형식을 정립하였다.

또한 지역간 또는 서울시지역내 화물량의 수급에 있어서 제한사항, 물류단지의 처리능력 등의 제약식을 정립하였다. 이렇게 만들어진 목적함수식, 제약조건식, 기타 변수들의 조건을 종합하여 화물의 발생지↔물류단지↔최종목적지의 세 단계의 물류거점을 고려한 혼합정수계획모형을 개발하였다.

<목적함수식>

$$\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{q} C_{ij}X_{ij} + \sum_{j=1}^{q}\sum_{k=1}^{r} C_{jk}X_{jk} + \sum_{j=1}^{q} F_jY_j \qquad (1)$$

<제약조건식>

$$\sum_{i=1}^{p} X_{ij} \le O_i \;\; (i=1 \cdots\cdots\cdots p) \qquad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{r} X_{jk} \ge D_k \;\; (k=1 \cdots\cdots\cdots r) \qquad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{q} X_{ij} - \sum_{j=1}^{q}\sum_{k=1}^{r} X_{jk} \ge 0 \qquad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{q} X_{ij} - O_iY_j \le 0 \qquad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{p}\sum_{k=1}^{r} X_{jk} - D_kY_j \le 0 \qquad (6)$$

$$l_j = n \;\; (1 \le n \le q) \qquad (7)$$

$$X_{ij},\; X_{jk} \ge 0 \qquad (8)$$

$$Y_j = (0,\; 1) \qquad (9)$$

$C_{ij}$ : i지역(발생지)에서 j지점(물류단지)까지의 단위당 수송비용
$C_{jk}$ : j지점(물류단지)에서 k지역(도착지)까지의 단위당 배송비용
$X_{ij}$ : i지역(발생지)에서 j지점(물류단지)까지의 화물수송량
$X_{jk}$ : j지역(물류단지)에서 k지점(도착지)까지의 화물배송량
$F_j$ : 물류단지를 j지점에 건설할 때 소요되는 고정비용
$Y_j$ : 1 - j지점에 물류단지가 건설될 경우
0 - j지점에 물류단지가 건설되지 않을 경우
$O_i$ : 발생지(i)의 화물 총발생량
$D_k$ : 도착지(k)의 화물 총도착량
$l_j$ : 물류단지 입지선정개수

위의 식(1)은 목적함수식으로 지역간 화물량의 수급관계를 만족시키기 위해 요구되는 수·배송비와 물류단지 조성에 따른 고정비를 최소화하는 것이다.

식(2)~(9)는 제약조건식으로써 식(2)는 각 링크를 통하여 운반되는 화물량에 대한 공급능력은 충분하다는 것이고 식(3)역시 물류단지에서 도착지로 유출되는

물량도 충분함을 나타내는 식이다. 식(4)는 물류단지에서 유입되는 물량과 유출되는 물량은 동일해야 함을 나타내는 조건식이며 식(5) 식(6)은 물류단지의 규모에 따라 처리할 수 있는 물량의 한계를 나타내는 조건식이다. 식(7)은 물류단지 입지선정의 개수를 지정하는 식이며 식(8)은 화물량변수로 비음수(Non-Negative) 조건식이며 식(9)는 물류단지의 입지선정 및 규모결정과 관련된 정수의 조건식으로 '0'과 '1'만을 갖도록 하며 어떤 한 후보입지에서의 물류단지 입지 및 규모결정이 부분적으로 이루어질 수 없음을 의미한다.

## 3. 퍼지이론을 이용한 모형의 개발

### 1) 퍼지이론의 검토

#### (1) 멤버쉽함수

멤버쉽함수의 종류에는 S형, J형, 선형 등이 있으며(김대종, 1995) 본 연구에서는 목적식의 결정변수인 총비용과 제약조건식의 결정변수인 화물량에 대한 불확실한 상황을 퍼지최적화로 변환하는데 있어서 수송문제에 취급이 용이하고 실용적인 선형 멤버쉽함수를 적용하였다.

#### (2) 퍼지최적의사결정

퍼지 최적화란 의사결정에 있어서의 불확실한 환경요인을 감안토록 하기위해 기존의 엄밀한 최적화 모델, 식(10)의 제약식이나 목적함수를 퍼지집합을 통해 표현한 것이다(Zimmermann, 1983).

$$\begin{aligned} &\max\ z = c^T x \qquad (10)\\ &\text{subject to}\\ &\quad Ax \le b\\ &\quad x \ge 0 \end{aligned}$$

여기서 $c$와 $x$는 n-벡터, $b$는 m-벡터, A는 m×n 행렬이다. 목적함수나 제약식 가운데 어느 것을 퍼지집합으로 표현하는가에 따라 퍼지 최적화 모델은 대칭 모델과 비대칭 모델로 구분할 수 있는데 본 연구에서는 목적함수와 제약조건식을 모두 퍼지화로 변환하여 모형을 개발함으로 대칭모델에 대해서 살펴보기로 한다.

대칭 모델이란 목적함수와 제약식 모두가 퍼지집합으로 표현되는 경우를 말하며 이 때 식(10)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} &\textit{Find}\ \ x \qquad (11)\\ &\text{subject to}\\ &\quad c^T x \lesssim z_0\\ &\quad Ax \lesssim b\\ &\quad x \ge 0 \end{aligned}$$

여기서 "$\lesssim$"는 퍼지 부등호로써 언어적으로는 "같거나 너무 크지 않다"라는 의미를 가지고 있다. $z_0$는 일종의 한계치로써 지나치게 위배되지 않도록 되기를 바라는 값이다. 식(11)을 보면 목적함수가 하나의 퍼지 제약식으로 표현되었음을 알 수 있다. 여기서 $\begin{pmatrix} c^T \\ A \end{pmatrix} = B$, $\begin{pmatrix} z \\ b \end{pmatrix} = d$라 두면 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} &\textit{Find}\ \ x \qquad (12)\\ &\text{subject to}\\ &\quad Bx \lesssim d\\ &\quad x \ge 0 \end{aligned}$$

$f(X) \lesssim z_o$(단, $z_0$ : 지망수준)에서 (m+1)개 각각의 열은 소속함수가 $\mu_i(x)$인 퍼지 집합으로 표현되며 여기서 소속함수 $\mu_i(x)$, $i=1,\cdots,\ m+1$은 $x$가 퍼지 부등식 $(Bx)_i \lesssim d_i$ (여기서 $(Bx)_i$ 는 B의 $i$ 번째 열을 의미)를 만족시키는 정도라 해석할 수 있다. 이와 같은 모델에서 결정 결과 즉 해 역시 퍼지 집합으로 표현되며 멤버쉽(소속)함수는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\mu_D(x) = \min_{i=1}^{m+1} \mu_i(x) \qquad (13)$$

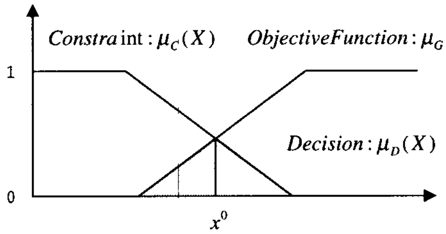
따라서 퍼지 집합으로 표시되는 식(12)의 각 열 즉, 제약식의 결합으로 해가 결정되고 이 해를 나타내는 퍼지 집합의 소속함수가 식(13)과 같이 정의된다.

그런데 의사결정자가 원하는 결과가 퍼지집합이 아니라 유일한 최적해 $x^0$를 결정하는 것이라고 할 경우 $x^0$ 는 식(13)과 같은 소속함수를 갖는 해를 나타내

는 퍼지집합에서 가장 큰 소속값을 갖는 해, 즉 최대해로 정의될 수 있다. 따라서 이것은 식(14)와 같이 표현되는 식의 해라고 할 수 있다.

$$\max_{x\geq 0} \ \min_{i=1}^{m+1} \mu_i(x) = \mu_M(x^0) \tag{14}$$

식(13)과 식(14)를 도식적으로 표현하면 〈그림 1〉과 같으며 이를 통해 그 의미를 쉽게 알 수 있다.




〈그림 1〉 Membership function of a fuzzy solution set & a maximizing solution

여기서 소속함수 $\mu_i(x)$를 다음과 같이 정의할 수 있다. $\mu_i(x)$의 진리값은 식(12)의 퍼지 제약식들(목적함수도 포함)이 과도하게 위반될 경우 0이 되어야 하며 매우 잘 준수될 경우에는 1이 되어야 한다.

한편, 그 이외의 경우에는 0과 1사이에서 단조증가해야 한다.

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } (Bx)_i \\ \epsilon\,[0,1] & \text{if } d_i \leq (Bx)_i \leq d_i + p_i, \\ & \quad i=1,\cdots,m+1 \\ 0, & \text{if } (Bx)_i > d_i + p_i \end{cases} \tag{15}$$

구간 $[d_i,\ d_i + p_i]$에서 가장 간단한 형태의 소속함수를 사용할 경우 다음과 같이 선형적으로 증가하는 함수를 가정할 수 있다.

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } (Bx)_i \\ 1 - \dfrac{(Bx)_i - d_i}{p_i}, & \text{if } d_i \leq (Bx)_i \leq d_i + p_i, \\ & \quad i=1,\cdots,m+1 \\ 0, & \text{if } (Bx)_i > d_i + p_i \end{cases} \tag{16}$$

$p_i$는 의사결정자에 의하여 주관적으로 정해지는 상수로써 목적식과 제약식들을 위배할 수 있는 허용 범위를 나타낸다. 식(16)을 식(14)에 대입하고 정리하면 다음과 같은 수식이 얻어진다.

$$\max_{x\geq 0} \ \min_{i=1}^{m+1} \left(1 - \frac{(Bx)_i - d_i}{p_i}\right) \tag{17}$$

여기서 새로운 변수 $\lambda$ (이 값은 해의 소속함수를 나타내는 식(13)에 대응된다)를 도입하면 식(17)을 다음과 같이 변형할 수 있다.

$$\begin{aligned} &\max \quad \lambda \\ &\text{subject to} \\ &\quad \lambda p_i + (Bx)_i \leq d_i + p_i, \quad i = 1, \cdots\cdots, m+1 \\ &\quad 0 \leq \lambda \leq 1 \\ &\quad x \geq 0 \end{aligned} \tag{18}$$

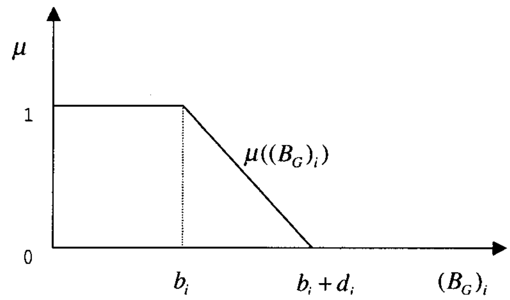
식(18)의 최적해를 $(\lambda^0, x^0)$라 하면 $x^0$는 소속함수를 식(16)과 같이 가정했을 때 식(12)와 같이 표시되는 대칭 모델의 해의 소속함수 식(14)의 최대해가 된다.

## 2) 혼합정수계획모형의 퍼지최적화 변환

### (1) 목적식의 퍼지최적화 변환

앞에서 살펴본 혼합정수계획 모형에 대한 목적함수식인 식(1)을 퍼지최적화로 변환하는데 있어서 취급이 용이하고 실용적이며 '어느 정도 비용만 들면 좋은가'라는 만족도 기준에 따라 다음의 〈그림 2〉와 같은 선형 멤버쉽함수를 적용하였다.

목적함수는 다음과 같이 식(17)에 따라 만족도를 나타내는 최대화문제로 표시된다.




〈그림 2〉 목적함수에 대한 멤버쉽함수

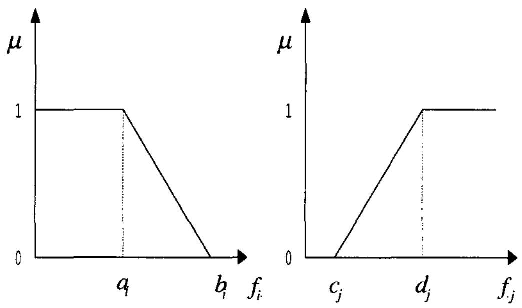
$$\max \quad \lambda$$

여기에서 최적값으로 구해진 $\lambda$는 변화된 조건에서의 만족하는 정도(만족도)를 나타내고 이 때의 변수들의 값에 의해 퍼지이론을 적용시킨 유연성있는 해를 얻게 된다.

### (2) 제약조건식의 퍼지최적화 변환

제약조건식에 퍼지성을 반영하기 위한 멤버쉽함수는 다음과 같은 점을 충족할 수 있도록 구성하였다.

첫째, 보통의 수송문제는 총공급량이 총수요량을 언제나 상회하고 수요측의 희망을 늘 만족시킨다는 가정에서 고려되나 현실적인 문제에서는 총공급량이 총수요량을 상회한다고는 단정할 수는 없기 때문에 공급량과 수요량에 얼마씩 융통성이 있다면 물량의 한계량을 피하고 어느 정도 여유를 두고 싶다는 점과둘째, 확정적인 제약을 사용하는 종래의 방법으로 실행가능해를 구할 수 없는 경우에 제약을 이탈한 가장 만족도가 높은 실행가능해를 구하려고 한다는 점(유동선 외, 1996)을 고려하여 제약조건에 대한 멤버쉽함수는 다음의 〈그림 3〉과 같은 선형의 멤버쉽함수를 이용하여 퍼지최적화로 변환하였다.




〈공급측의 만족도〉 〈수요측의 만족도〉

〈그림 3〉 제약조건에 대한 멤버쉽함수

### (3) 퍼지이론을 이용한 모형의 개발

위에서 살펴본 기준 및 조건을 중심으로 혼합정수계획 모형의 목적함수와 제약조건을 퍼지최적화로 변환한 퍼지혼합정수계획모형은 다음과 같다.

$$\max imize \quad \lambda$$

subject to

$$(B_G)_i + d_i\lambda \leq b_i + d_i \tag{19}$$

$$(B_S)_i + d_i\lambda \leq b_i + d_i \tag{20}$$

$$(B_D)_i - d_i\lambda \geq b_i - d_i \tag{21}$$

$$\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{q} X_{ij} - \sum_{j=1}^{q}\sum_{k=1}^{r} X_{jk} \geq 0 \tag{22}$$

$$\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{q} X_{ij} - O_i Y_j \leq 0 \tag{23}$$

$$\sum_{j=1}^{p}\sum_{k=1}^{r} X_{jk} - D_k Y_j \leq 0 \tag{24}$$

$$l_j = n \quad (1 \leq n \leq q) \tag{25}$$

$$X_{ij},\ X_{jk} \geq 0 \tag{26}$$

$$Y_j = (0,\ 1) \tag{27}$$

$(B_G)_i$ : 혼합정수계획모형의 목적함수식

$(B_S)_i$ : 혼합정수계획모형의 제약식중 공급량(발생량)에 대한 제약식

$(B_D)_i$ : 혼합정수계획모형의 제약식중 수요량(도착량)에 대한 제약식

$\lambda$ : 퍼지화로 변화된 조건에서의 만족하는 정도(만족도)를 나타내는 부가변수

$b_i$ : 의사결정자에 의하여 주관적으로 정해지는 상수

$d_i$ : $i$번째 퍼지부등식의 초과되는 허용진동폭

$C_{ij}$ : i지역(발생지)에서 j지점(물류단지)까지의 단위당 수송비용

$C_{jk}$ : j지점(물류단지)에서 k지역(도착지)까지의 단위당 배송비용

$X_{ij}$ : i지역(발생지)에서 j지점(물류단지)까지의 화물수송량

$X_{jk}$ : j지점(물류단지)에서 k지역(도착지)까지의 화물배송량

$F_j$ : 물류단지를 j지점에 건설할 때 소요되는 건설비용

$Y_j$ : 1 - j지점에 물류단지가 건설될 경우
0 - j지점에 물류단지가 건설되지 않을 경우

$O_i$ : 발생지(i)의 화물 총발생량

$D_k$ : 도착지(k)의 화물 총도착량

$l_j$ : 물류단지 입지선정갯수

위 식에서 $\lambda$는 $(B_G)_i$, $(B_S)_i$, $(B_D)_i$의 퍼지목표와 퍼지제약에 대한 최소만족도의 최대치, 즉 퍼지목표와 퍼지제약을 동시에 고려했을 때에 대한 최대 만족하는 정도(만족도)를 의미한다.

식(19)는 목적함수에 대한 퍼지제약식으로 유연한 범위내에서 지역간 화물량의 수급관계를 만족시키기 위하여 요구되는 수송비 및 배송비와 물류단지 건설에 따른 고정비를 최소화하는 것이다. 식(20)은 각 링크를 통하여 운반되는 화물량에 대한 공급능력은 충분하다는 것을 퍼지제약식으로 표현한 것이고 식(21)역시 물류단지에서 도착지로 유출되는 물량도 충분함을 나타내는 퍼지제약식으로 표현한 것이다. 식(22)에서 식(27)은 MIP모형의 조건을 적용한 일반적인 조건식이다.

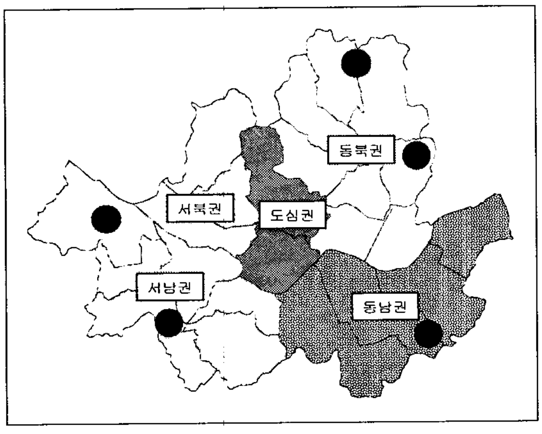
## Ⅳ. 모형의 실행 및 평가

이 장에서는 위에서 개발한 퍼지모형의 현실적 적합성 및 적용가능성을 검토하기 위해 서울시를 사례지역으로 선정하여 분석하도록 하며 동일 데이터값들을 두 모형에 적용하여 모형의 실행 및 결과분석을 하였다.

### 1. 자료분석

#### 1) 입지후보지 선정

후보지 선정은 물류단지의 입지요인을 기준으로 하여 입지후보지를 선정하는 것이 원칙이나 서울시(1998)의 연구에서 제시된 물류거점를 최종후보지로 적용하도록 한다.




주) ●표시는 입지후보지임

〈그림 4〉 물류단지 후보지선정

서울시의 배치구상(안)을 보면 서울시계내에는 경인축, 남서부축, 북부축, 동부축, 남부축으로 구분하여 5개의 물류(또는 유통)단지를 구상하였다.

#### 2) 물류네트워크 구성

물류네트워크는 서울시(1998)의 물류네트워크 구축방향을 토대로 구축하였으며 서울시내부지역 25개존과 서울시외지역중 경기지역 10개축, 기타 11개존 등 총 46개존(제주도 제외)으로 구성되며 서울시 내부물동량과 서울시외부 물동량은 모두 물류단지로 경유하도록 물동량의 경로와 물류단지의 입지 및 규모결정을 위하여 물류네트워크를 구축하였다.

#### 3) 취급품목의 선정

물류단지의 취급대상품목은 서울시(1998)에서 선정한 품목을 본 연구의 물동량으로 결정한다.
- 도・소매업제품을 기준으로 한 음식료 및 담배 제조업
- 섬유 및 의류제품
- 조립・분해가 가능한 목재제품(가구 제외) 및 골재품
- 종이・펄프・인쇄 및 출간물
- 비철금속 광물 제품, 제 1・2차 금속제품
- 기계류 및 공구류
- 기타 제지업

#### 4) 경유비율 및 물동량결정

국토연구원(1997)의 연구에 의하면 화물터미널에 경유하는 화물량의 비율은 50%, 집배송단지는 30%로 언급하고 있으며 본 연구에서는 평균 40%를 적용하여 화물처리량을 계산하였다.

따라서 서울시 물류단지에서 취급할 물동량은 전국을 기준으로 화물의 발생 및 도착량을 산정한 결과 서울시에서 타지역으로 발생한 화물량 그리고 타지역에서 서울시지역으로 도착한 화물량이 각각 339,413톤/일로 조사되었으며 이 결과치를 화물량의 기초자료로 활용하도록 한다.

#### 5) 총비용산정

본 연구의 모형실행에 입력될 단위당 수・배송비용은 서울시 내부지역에서 물류단지후보지까지의 거리를 기준으로 수송비를 산정하였으며 서울시 외부지역에서

물류단지 후보지까지의 수·배송비는 서울시 경계를 중심으로 서울시경계에서 물류단지후보지까지의 거리를 기준으로 전국화물자동차운송사업조합연합회(1998)의 자료를 이용하여 수·배송비를 산정하였다.

물류단지 설치에 소요되는 건설비 산정은 먼저 용지비는 표준공시지가(1999. 10)를 적용하였으며 조성비는 중부권, 영남권 복합화물터미널건설 기본계획(1996)상의 평균치(120천원/㎡)를 적용하였다.

### 6) 원단위 산정

본 연구의 규모산정에 적용될 시설원단위는 교통개발연구원(1997)에서 제시한 1.5톤/㎡를 적용하였다.

## 2. 모형의 실행 및 평가

혼합정수계획모형(MIP)과 퍼지혼합정수계획모형(FMIP)을 실행하여 비교분석한 결과는 〈표 1〉과 같으며 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

시스템의 총비용이 최소가 되는 최적의 입지는 5개의 입지후보지가 모두 선정되었을 때 총비용이 최소가 되는 지역으로 나타났다.

운송비용을 비교해보면 MIP모형은 2,165백만원이며 FMIP모형은 1,975백만원으로 나타나 FMIP모형이 190백만원이 절감됨을 볼 수 있다. 이는 혼합정수계획모형이 지니고 있는 제약조건이 목적식을 반드시 만족시켜야 하는 확정적인 값을 적용하여 제약조건식의 범위내에서만 최적해가 도출되었다. 하지만 퍼지혼합정수계획모형에서는 첫째, 수요량과 공급량에 대해서 완전한 물량에 대한 수급관계를 벗어나 물량의 한계량을 피하고 어느 정도 제약을 이탈한 퍼지조건식을 적용하고, 둘째, 총비용측면에서 어느 정도 비용만 들면 좋은가라는 만족적인 구간값을 적용하여 시스템을 실행하였기 때문에 퍼지로 변환한 모형의 결과치가 적게 나타난 것으로 보인다.

물류단지를 건설하는 건설비용측면은 정책결정상 예산제약이 있을 경우 FMIP모형의 결과치가 약 196백만원이 감소되어 FMIP모형의 결정은 예산제약하에서의 대안채택이 가능하나 MIP모형의 결정은 불가능하게 됨을 보여주고 있어 정책결정상 의사결정자에게 폭넓은 선택의 기회를 제공하고 정책결정상의 오류를 최소화시켜줄 수 있음을 제시하고 있다.

물류단지 규모측면을 보면 MIP모형과 FMIP모형의 결과치의 차이가 클 것이라고 판단하였는데 실제로 모형을 실행한 결과 규모의 차이가 크지 않다는 것을 알 수 있다. 이는 퍼지모형으로 변환할 때 유연적이고 융통성있는 범위값을 적용하였기 때문이며 퍼지화로 변환된 FMIP모형도 현실적으로 적용가능성이 있다는 것을 보여주고 있다.

## Ⅴ. 결론 및 제언

본 연구는 첫째, 의사결정과정시 기존연구에서 제시할 수 없었던 최적해의 유연적이고 융통성있는 만족해를 도출하는 것과 둘째, 목적식의 조건을 반드시 만족시켜야만 했던 의사결정문제를 주관적인 측면에서 가장 합리적으로 이루어 보려는 의도로 퍼지이론을 이용한 물류단지 입지 및 규모결정 모형을 개발하였다.

퍼지화로 변환된 모형의 현실적 적합성 및 적용가능성을 검토하기 위해 사례분석을 통하여 현실적 상황하에서 적용가능성을 판단하였다. 개발된 모형을 실행하기 위해 범용선형계획패키지인 LINDO 6.01을 이용하였다.

이상에서 모형의 현실적 적합성 및 적용가능성을 판단한 결과 본 모형은 첫째, 입지 및 규모결정시 MIP

〈표 1〉 최적입지 및 규모결정 비교분석결과 (단위:톤, $m^2$, 백만원)

| 선정지역 | 총운송비용 | | 처리물량 | | 시설규모 | | 건설비용 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MIP | FMIP | MIP | FMIP | MIP | FMIP | MIP | FMIP |
| 도봉구 | 2,165 | 1,975 | 42,737 | 36,612 | 35,614 | 30,510 | 5,039 | 4,363 |
| 중랑구 | | | 35,138 | 45,530 | 29,282 | 37,942 | 4,319 | 5,597 |
| 강서구 | | | 40,836 | 45,314 | 34,030 | 37,762 | 5,275 | 5,853 |
| 구로구 | | | 114,905 | 109,948 | 95,754 | 91,623 | 16,470 | 15,759 |
| 송파구 | | | 105,797 | 100,392 | 88,164 | 83,660 | 18,514 | 17,569 |

모형에서 제시할 수 없었던 현실세계의 유연적이고 융통성있는 측면을 반영하여 입지 및 규모를 결정해 낼 수 있으며 둘째, 기존의 입지결정모형에 비해 상대적으로 많은 의사결정 상황을 고려함으로써 최종의 사결정자에게 다양한 정보 및 선택의 기회를 제공해 줄 수 있다는 측면과 셋째, 이 결과가 반드시 최적의 입지를 제시하고 있다고는 단정할 수 없으나 모든 자료들이 빠짐없이 정확하게 모형에 반영될 경우 현실적으로 적용이 가능하다는 것을 보여 주었다. 또한 본 연구에서 제시하고 있는 입지 및 규모결정 모형은 현실상황에서 발생하는 기타 유사시설의 입지선정문제에도 적용할 수 있을 것이라고 판단된다.

본 연구의 향후연구과제는 첫째, 정확한 수송비용 산정의 어려움으로 향후연구에서는 최단경로를 탐색하는 패키지(예를 들면, TRANPLAN, EMME/2)를 이용하여 최적의 경로를 이용하는 수송비용을 산정할 필요가 있겠다. 둘째, 적절한 멤버쉽함수 적용상의 어려움으로 향후연구에서는 삼각형 멤버쉽함수나 사다리꼴 멤버쉽함수를 이용하여 분석할 필요가 있겠다.

셋째, 혼합정수계획모형에 적용한 데이터값들을 퍼지혼합정수계획모형의 입력자료로 적용시 적절한 구간값 사용의 어려움으로 향후연구에서는 물류분야에 종사하는 물류전문가들의 의견수렴 및 설문조사를 통해 얻어진 결과를 적용하는 방안도 강구할 필요가 있겠다.넷째, 본 연구에서 이용한 입지후보지는 기존연구에서 제시된 입지후보지를 적용하여 분석하였으며 이 결과가 최적의 입지후보지라고는 단정할 수 없기 때문에 모형의 현실적 적용타당성 검증이 미흡하다고 하겠다.

마지막으로, 총비용 최소화 시스템에 제고비용 등의 변동비용을 포함하여 현실적인 비용추정이 되어야 하겠으며 불확실성에 대한 문제를 확률적으로 접근하여 모형을 개발하는 것도 추후 연구과제로 남는다.

## 참고문헌


1. 유동선・이교원(1996), "알기쉬운 퍼지입문", 교우사, pp.367~368.
2. 이금숙・강승필(1990), "복합화물터미널 입지선정을 위한 수학적 계획모형의 정립과 적용", 대한교통학회지 제8권 제1호, p.45.
3. 정광조(1993), "Fuzzy이론의 사회과학 방법론적 함의", 한국사회와 행정연구.
4. 서울시정개발연구원(1995), "서울시 물류교통체계 개선방안에 관한 연구", p.130.
5. 경기개발연구원(1997), "경기도 물류시설의 적정입지 선정 및 규모결정에 관한 연구", pp.67~70.
6. 교통개발연구원(1997), "대구종합물류단지 타당성조사 및 기본계획수립", p.189.
7. 국토연구원(1997), "유통단지개발 종합계획 수립연구"p.151.
8. 서울특별시(1998), "물류조사 및 물류종합계획수립구상(화물수송수요분석 및 예측부문)", pp.83~87.
9. 서울특별시(1998), "물류조사 및 물류종합계획수립구상(기본구상 부문)", pp.92~97.
10. 손기복(1994), "퍼지이론을 이용한 도시철도 노선평가에 관한 연구", 서울시립대 석사학위논문.
11. 한수희(1994), "로지스틱스관리상의 배송센터 입지선정에 관한 연구", 한양대석사학위논문.
12. 권오근(1994), "배송센터 최적입지선정 및 규모산정에 관한 연구", 서울시립대석사학위논문.
13. 김대종(1995), "퍼지집합(Fuzzy sets)을 이용한 적지분석 의사결정에 관한 연구", 서울대 석사학위논문.
14. 홍순태(1996), "분배센터 입지결정을 위한 수송모형의 타당성 제고 방안", 충남대박사학위논문.
15. 권혁준(1998), "혼합정수계획모형을 이용한 물류비 절감방안 연구", 서울시립대석사학위논문.
16. 전국화물자동차운송사업조합연합회(1998), 일반화물자동차운임・요금표.
17. M. L. Balinski(1963), "On Finding Integer Solutions to Linear Programs", Mathematica, Prineton, N. J.
18. H. Land and A. G. Murtz, D. W. Sweeney, and C. Karel(1963), "An Algorithm for the Traveling Salesamn Problem", Opns. Res. 11, pp.972~989.
19. Burnes, B.C. and White, J.a.(1970), "The Traveling Salesman Location Problem", Transportation Science, Vol. 10, No. 4, pp.348~360.
20. Or, Land Pierskalla, W.P.(1979), "A Transportation Location-Allocation Model for Regional and Banking", AIIE Transpor-

tation, Vol. 11, No. 2, pp.86~95.

21. H.J.Zimmermann(1983), "Fuzzy mathematical programming", Comput. Oper. Res. 10, pp. 291~298.
22. Perl, J. and Daskin, M.S.(1984), "A Unified Warehouse Location-Routing Methodology", Journal of Business Logistics, Vol. 5, No.1, pp.92~111.
23. U.Bhattacharya, J.R. Rao and R. N. Tiwari (1992), "Fuzzymulti-criteria facility location problem", Fuzzy Sets and Systems Vol. 51, pp.277~287.
24. U. Bhattacharya, J.R. Rao and R.N. Tiwari (1993), "Bi-criteria multi facility location problem in fuzzy environment", Fuzzy Sets and Systems Vol. 56, pp.145~153.
25. Plamen P. Angelov(1997), "Optimization in an intuitionistic fuzzy environment", Fuzzy Sets and Systems Vol.86, pp.299~306.
26. Ni-Bin Chang, Y.L. Chen, S.F. Wang(1997), "A fuzzy interval multiobjective mixed integer programming approach for the optimal planning of solid waste management systems", Fuzzy Sets and Systems Vol. 89, pp.35~36.