

■ 論 文 ■

배송중심지의 위치선정을 위한 연구

Location Determination Model for Distribution Center

오 세 창

(아주대학교 환경·도시공학부 조교수)

목 차

- | | |
|-----------------|--------------|
| I. 서론 | III. 모형 구성 |
| II. 이론적 배경 | IV. 모형의 적용 |
| 1. 평균거리 최소화문제 | V. 결론 및 향후연구 |
| 2. 최대통행거리 최소화문제 | 참고문헌 |
| 3. 요구조건 최소화문제 | |

요 약

국가 경쟁력 강화 측면에서 물류의 효율성 증대는 많은 관심의 대상이 되고 있으며, 따라서 물류시설의 입지를 결정하는 문제는 매우 중요하다. 그 중에서도 배송중심지는 물류비 절감 차원 뿐만 아니라 물류 서비스의 향상차원에서 관심이 증대되고 있다.

따라서 본 연구에서는 물류시설의 위치결정을 위하여 평균거리 최소화문제(median problem)와 최대통행거리 최소화문제(center problem)를 결합한 이진정수계획모형을 제시하였으며, 또한 개발된 모형은 수요의 형태가 상이한 4가지 유형의 망(network)상에서 2개 및 3개의 배송중심지를 설치하는 문제에 적용되었다.

I. 서론

현재 한국은 유통시설의 부족 및 물류체계 불합리로 인한 유통비용증대의 문제점을 극복하기 위하여 합리적인 유통체계구축에 많은 관심을 보이고 있다. 일반적으로 물류망상에서는 역할에 따라 다양한 유형의 물류시설이 있으며, 물류시설의 수도 많다. 다양한 종류의 제품이 여러 공급처부터 물류시설에 반입되고 보관된 후 여러 고객으로 반출된다. 일부 제품은 물류시설에 보관되지 않은 채 단지 경유만 해서 고객으로 반출되기도 하고, 물류시설을 경유하지 않고 공급처로부터 직송되기도 한다. 이렇듯 물류망상에서의 물자흐름이 복잡하기 때문에, 물류시설의 입지결정은 매우 중요한 문제이다(국토개발연구원, 1997).

여러 물류시설 중의 하나인 수·배송중심지는 생산지나 공장으로부터 소비자(또는 대리점)를 잇는 중간과정의 물류시설로서, 배송대상지역을 분할하여 지역배송중심지를 통한 배송을 행함으로써 물류비용을 절감시킬 수 있을 뿐 아니라, 물류서비스의 질을 높일 수 있는 물류시설이다. 따라서 물류비 절감 차원 뿐만 아니라 물류서비스의 향상차원에서 배송중심지에 대한 관심은 더욱 증대되고 있다(김현정, 1998)(Tompkins, 1996).

본 연구에서는 물류효율화를 위한 방안으로 배송중심지의 설치를 고려하였으며, 이를 위하여 배송중심지의 최적입지를 설정하기 위한 모형을 개발하였다. 또한, 개발된 모형을 여러 유형의 물류망상에서 2개 및 3개의 배송중심지를 결정하는 문제에 적용하였다.

II. 이론적 배경

수·배송중심지, 화물청사(terminal), 컨테이너 야적장 등 많은 물류시설을 계획, 운용함에 있어서 효율적이며 적절한 위치를 선정해야 하는 경우가 발생한다. 이와 같은 시설물 위치결정문제(Facility Location Problem)는 다음과 같은 3가지의 유형으로 분류할 수 있다(Larson, 1981).

1. 평균거리 최소화문제(median problem)

어떤 지역에 시설의 수가 정해져 있는 임의의 시설을 설치하고자 할 때, 그 시설을 사용하고자 하는 수요량에 대해 평균거리(평균 통행시간 또는 평균통행비용)를 최소화하는 위치를 결정하는 방법이다. 즉, 평균거리 최소화 문제는 수요의 량을 고려하기 때문에 주로 비용급시설의 배송문제를 고려한 위치를 결정할 때 사용한다. 예를 들어, 전화국, 화물청사, 우체국, 동사무소와 같은 공공시설의 위치를 결정할 때 주로 사용된다고 할 수 있다. 이와 같은 평균거리 최소화문제를 수식으로 작성하면 다음과 같다.

$$\text{목적함수식} : \min \sum_{i=1}^n \left\{ h_i \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot X_{ij} \right\} \quad (1)$$

$$\text{제약조건식} : \sum_{j=1}^n X_{ij} = P$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (\text{모든 } i \text{에 대하여})$$

$$X_{ij} \leq X_{jj} \quad (i \neq j, \text{ 모든 } i, j \text{에 대하여})$$

$$X_{ij} = 0 \text{ or } 1$$

여기에서, h_i : 결절점 i 의 수요량

d_{ij} : 결절점 i 와 j 사이의 최소거리(비용)

n : 결절점의 총수

P : 시설의 수

2. 최대통행거리 최소화문제(center problem)

어떤 지역에 시설의 수가 정해져 있는 임의의 시설을 설치하고자 할 때, 그 시설을 이용하고자 하는 수요의 최대통행거리(통행시간 또는 통행비용)를 최소화하는 위치를 결정하는 방법이다. 최대통행거리 최소화문제는 평균거리 최소화문제와 달리 해당지역의 수요를 고려하기보다는 최대 통행거리(비용, 시간)를 고려하기 때문에 응급서비스시설의 위치를 결정하는데 사용된다. 즉, 응급의료중심지, 소방서, 응급보수중심지와 같이 수요가 일정하지 않고 빠른 시간내에 서비스를 제공해야 하는 시설의 위치를 결정할 때 주로

사용된다고 할 수 있다. 이와 같은 최대통행거리 최소화문제를 수식으로 작성하면 다음과 같다.

$$\text{목적함수식} : \min_{i \in N} (\max_{j \in N} d_{ij}) \quad (2)$$

$$\text{제약조건식} : \sum_{j=1}^n X_{ij} = P$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (\text{모든 } i \text{에 대하여})$$

$$X_{ij} \leq X_{ji} \quad (i \neq j, \text{ 모든 } i, j \text{에 대하여})$$

$$X_{ij} = 0 \text{ or } 1$$

여기에서, d_{ij} : 결절점 i 와 j 사이의 최소거리(비용)

n : 결절점의 총수

P : 시설의 수

3. 요구조건 최적화문제(requirement problem)

이러한 문제는 서비스 망에 대해 이미 어떤 수행기준이 사전에 정해져 있고, 이러한 기준에 적합한 시설의 수와 위치를 결정하는 방법이다. 여기에는 서비스를 제공할 수 있는 최대거리가 사전에 정해진 상태에서 시설물의 수를 결정하는 전체포함문제(set covering problem)와 시설물의 수를 사전에 지정한 상태에서 서비스가 제공되는 수요량을 최대화시킬 수 있는 위치를 결정하는 최대포함문제(maximum covering problem)가 있다. 앞에서 설명한 두 가지 유형의 문제와는 달리 수요량 또는 시설의 수를 결정하지 않은 상태에서 시설의 위치를 결정함과 동시에 적절한 수요량과 시설의 수를 결정하는 방법으로 응급시설과 비응급시설 모두에 사용될 수 있다.

III. 모형 구성

앞장에서 살펴본 바와 같이 평균거리 최소화 문제의 경우에는 각 결절점의 수요가 고려된 평균비용을 최소화하는 문제이며, 최대통행거리 최소화문제의 경우에는 각 결절점의 수요가 고려되지 않고 단지 최대

통행비용을 최소화하는 문제이다.

본 연구에서는 단일가중평균에 의하여 평균거리 최소화문제와 최대통행거리 최소화문제를 결합시켰다. 결합을 위하여 우선 식(2)를 다음과 같이 수정하였다.

$$\text{목적함수식} : \min Q \quad (3)$$

$$\text{제약조건식} : \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot X_{ij} \leq Q \quad (\text{모든 } i \text{에 대하여})$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = P$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (\text{모든 } i \text{에 대하여})$$

$$X_{ij} \leq X_{ji} \quad (i \neq j, \text{ 모든 } i, j \text{에 대하여})$$

$$X_{ij} = 0 \text{ or } 1$$

따라서, 최종적으로 구성된 모형은 다음과 같다.

$$\text{목적함수식} : \min \left\{ \alpha \left(\sum_{i=1}^n (h_i \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot X_{ij}) \right) + (1-\alpha)Q \right\} \quad (4)$$

$$\text{제약조건식} : \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot X_{ij} \leq Q \quad (\text{모든 } i \text{에 대하여})$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = P$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (\text{모든 } i \text{에 대하여})$$

$$X_{ij} \leq X_{ji} \quad (i \neq j, \text{ 모든 } i, j \text{에 대하여})$$

$$X_{ij} = 0 \text{ or } 1$$

여기에서, α : 가중치 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

식(4)의 목적함수식은 평균거리 최소화문제의 목적함수식에는 α 의 가중치를 주고 최대통행거리 최소화문제의 목적함수식에는 $(1-\alpha)$ 의 가중치를 부여하였다. 첫째 제약조건식은 최대통행거리의 최소화를 보장하는 식이며, 둘째 제약조건식은 설치해야할 시설물의 개수가 P 개라는 것을 의미한다. 또한 셋째 제약조건식은 모든 결절점은 반드시 어느 하나의 결절점

에 설치된 시설물로부터 서비스를 제공받아야 한다는 의미이며, 넷째 제약조건식은 시설물이 설치된 이후에야 비로소 그 시설물로부터 서비스를 제공받을 수 있다는 뜻이다. 마지막 제약 조건식은 시설물로부터 서비스를 제공받는 결절점은 결정변수의 값이 1이며, 그렇지 않은 경우는 0이라는 의미를 지닌다.

식(4)는 이진정수계획모형(binary integer programming model)으로서 α 가 0일 경우에는 최대통행거리 최소화 문제이며, 1일 경우에는 평균거리 최소화문제이다.

IV. 모형의 적용

모형의 적용을 위하여 사용한 망은 <그림 1>과 같이 21개의 결절점과 43개의 양방향 링크로 구성되어 있으며, 각 링크의 측면에는 링크통행시간(비용)이 기입되어 있다.

이론적 배경에서 설명한 바와 같이 평균거리 최소화문제와 최대통행거리 최소화문제의 주된 차이는 각 결절점의 수요량을 고려하느냐 고려하지 않느냐에 있다. 따라서, 이 두 문제를 결합한 모형을 적용하기 위

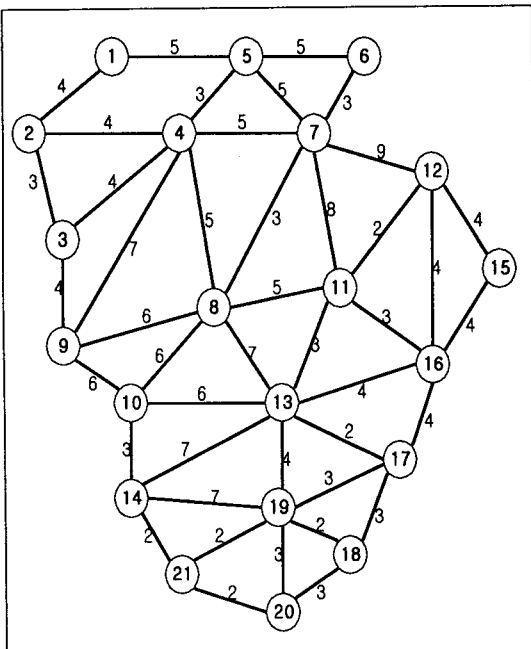
해서는 결합모형이 수요량에 따라 어떻게 변화하는지를 검증할 필요가 있다.

따라서 본 모형의 적용에서는 링크통행시간(비용)은 변하지 않는다는 가정하에, 수요량의 변화에 따라 시설의 최적 위치가 변화하는가를 살펴보고 이를 분석하고자 한다.

2개 및 3개의 배송중심지 위치를 결정하는 문제를 다루기 위하여 수요량의 분포도에 따라서 다음과 같은 4가지 유형의 망상에서 모형을 적용하였다.

- 기본형(균등분포형)(A)
- 1개 지역 집중형(B)
- 2개 지역 집중형(C)
- 대도시 및 지방도시형(D)

기본형은 수요가 골고루 분포되어 있는 망을 말하며, 1개 지역 집중형은 수요가 하나의 지역에(이 경우에는 결절점 11, 12, 15) 모여있는 망을 지칭한다. 또한 2개 지역 집중형은 수요가 두 개의 지역에(이 경우에는 결절점 3, 9와 결절점 18, 20, 21) 군집되어 있는 망을 일컫으며 대도시 및 지방도시형은 수요가 극심하게 집중되어 있는 대도시(결절점 8)와 어느 정도 수요가 있는 그 주변의 지방도시(결절점 1, 3, 12, 18, 21)로 구성되어 있는 망을 말한다. 각각의 망 형태에 대한 수요량은 <표 1>에 나타나 있다. 모형 적



<그림 1> 모형적용을 위한 망(network)

<표 1> 망 유형별 결절점의 수요

결절점	A	B	C	D
1	1	1	1	10
2	5	5	5	5
3	2	2	40	20
4	3	3	3	3
5	2	2	2	2
6	1	1	1	1
7	1	1	1	1
8	6	6	6	180
9	1	1	20	1
10	5	5	5	5
11	1	20	1	1
12	5	100	5	5
13	1	1	1	1
14	6	6	6	6
15	2	40	2	2
16	2	2	2	2
17	4	4	4	4
18	5	5	100	50
19	1	1	1	1
20	4	4	80	4
21	2	2	40	20

용을 위하여 필요한 각 결절점간의 최소거리 d_{ij} 는 <표 2>에 제시되어 있다.

<표 2> 각 결절점간의 최소거리 $d(i, j)$

		j																					
		0	4	7	8	5	10	10	13	11	17	18	19	20	20	23	21	23	26	24	24	22	
i	4	0	3	4	7	12	9	9	7	13	14	16	16	16	20	17	18	21	20	20	18	15	
	7	3	0	4	7	12	9	9	4	10	14	16	16	13	20	17	18	19	17	17	15	15	
	8	4	4	0	3	8	5	5	7	11	10	12	12	14	16	13	14	17	16	18	16	16	
	5	7	7	3	0	5	5	8	10	14	13	14	15	17	18	16	17	20	19	21	19	19	
	10	12	12	8	5	0	3	6	12	12	11	12	13	15	16	14	15	18	17	19	17	17	
	10	9	9	5	5	3	0	3	9	9	8	9	10	12	13	11	12	15	14	16	14	14	
	13	9	9	5	8	6	3	0	6	6	5	7	7	9	11	8	9	12	11	13	11	11	
	11	7	4	7	10	12	9	6	0	6	11	13	12	9	17	14	14	15	13	13	11	11	
	17	13	10	11	14	12	9	6	6	0	9	11	6	3	14	10	8	9	7	7	5	5	
	18	14	14	10	13	11	8	5	11	9	0	2	3	10	6	3	5	8	7	10	9	9	
	19	16	16	12	14	12	9	7	13	11	2	0	5	12	4	4	7	10	9	12	11	11	
	20	16	16	12	15	13	10	7	12	6	3	5	0	7	8	4	2	6	4	7	6	6	
	20	16	13	14	17	15	12	9	9	3	10	12	7	0	15	11	9	6	4	4	2	2	
	23	20	20	16	18	16	13	11	17	14	6	4	8	15	0	4	8	11	11	14	13	13	
	21	17	17	13	16	14	11	8	14	10	3	4	4	11	4	0	4	7	7	10	9	9	
	23	18	18	14	17	15	12	9	14	8	5	7	2	9	8	4	0	3	3	6	5	5	
	26	21	19	17	20	18	15	12	15	9	8	10	6	6	11	7	3	0	2	3	4	4	
	24	20	17	16	19	17	14	11	13	7	7	9	4	4	11	7	3	2	0	3	2	2	
	24	20	17	18	21	19	16	13	13	7	10	12	7	4	14	10	6	3	3	0	2	2	
	22	18	15	16	19	17	14	11	11	5	9	11	6	2	13	9	5	4	2	2	0	0	

<표 3> 모형적용의 결과 (설치할 배송중심지의 개수가 2개일 경우)

α	A		B		C		D	
	위치	최적값	위치	최적값	위치	최적값	위치	최적값
0	4,13	8	4,13	8	4,13	8	4,13	8
0.1	4,13	37	8,15	65.4	3,18	91	8,18	109.4
0.2	4,13	66	8,12	125.6	3,20	170	8,18	205.8
0.3	4,13	95	8,12	181.9	3,20	248	8,18	302.2
0.4	4,13	124	8,12	238.2	3,20	326	8,18	398.6
0.5	4,13	153	8,12	294.5	9,18	450	8,18	495
0.6	4,13	181	8,12	350.8	3,20	482	8,18	591.4
0.7	4,13	211	8,12	407.1	3,20	560	8,18	687.8
0.8	4,21	237	10,12	463.4	3,20	638	8,18	784.2
0.9	4,21	265	10,12	519.2	3,18	723	8,18	880.6
1.0	4,21	293	10,12	575	3,20	794	8,18	977

<표 4> 모형적용의 결과 (설치할 배송중심지의 개수가 3개일 경우)

α	A		B		C		D	
	위치	최적값	위치	최적값	위치	최적값	위치	최적값
0	5,10,16	7	5,10,16	7	5,10,16	7	5,10,16	7
0.1	4,12,21	27.4	4,15,21	40.5	3,18,20	56.5	8,12,18	71.7
0.2	4,12,21	46.8	4,12,21	84.8	3,18,20	101	8,12,18	130.4
0.3	4,12,21	66.2	4,12,21	123.2	3,18,20	145.5	8,12,18	189.1
0.4	4,12,21	85.6	4,12,21	161.6	3,18,20	190	8,12,18	247.8
0.5	4,12,21	105	4,12,21	200	9,18,20	282.5	8,12,18	306.5
0.6	4,12,21	124.4	4,12,21	238.4	3,18,20	279	8,12,18	365.2
0.7	4,12,21	150.1	4,12,21	283.8	3,18,20	323.5	8,12,18	423.9
0.8	4,12,21	163.2	4,12,21	315.2	3,18,20	368	8,12,18	482.6
0.9	4,12,21	183.6	4,12,21	353.6	3,18,21	463.8	8,12,18	541.3
1.0	4,12,21	202	4,12,21	392	3,18,20	457	8,12,18	600

설치해야 할 배송중심지가 2개일 경우에 가중치의 값을 0에서부터 0.1간격으로 1까지 변화시키면서 모형을 적용한 결과는 배송중심지의 위치와 목적함수값과 함께 <표 3>에 제시되어 있으며, 또한 3개일 경우의 결과는 <표 4>에 나타나 있다.

<표 3>과 <표 4>에 따르면, 기본형의 경우에 적절한 위치는 결절점 4와 21이고, 3개 이상을 설치할 경우에는 12 내지는 13이 후보지역이 됨을 알 수 있다. 두 번째로 한 지역에 수요를 급증시켰을 때, 3개의 시설을 설치할 경우에는 기본형과 차이가 없었으나 2개를 설치할 경우에는 수요량의 급증에 따라 민감하게 반응함을 보여주고 있다. 세 번째로 두 지역의 수요를 급증시켰을 경우에는 설치할 시설의 수에 관계없이 목적함수식에 수요량이 고려됨과 동시에 위치의 변화가 나타남을 알 수 있다. 마지막으로 수도권권의 형태를 고려하여 수요량을 변화시켰을 경우에 한 지역의 수요량이 타 지역에 비해 월등하게 많은 지역에 우선적으로 시설이 위치하도록 하는 결과가 나타났다. 따라서, 본 연구에서 제시한 결합모형이 수요량에 따라 각기 다른 결과를 나타낸다는 것을 알 수 있다.

모형적용의 결과로 나타난 사실을 정리하면 다음과 같다.

첫째, α 가 0인 경우(최대통행거리 최소화문제)에는 수요가 고려되지 않으므로 4가지 망 유형에서 동일한 결과가 도출되었으며, α 가 1인 경우(평균거리 최소화문제)에는 수요가 고려되어 4가지 망 유형에서 각기 다른 결과를 초래하였다. 또한, 수요량에 변화를 준 B, C, D의 경우에 모두 수요를 고려함과 동시에 위치의 변화가 발생함을 나타내고 있다.

둘째, 배송중심지를 2개 설치하는 것보다 3개를 설치하는 것이 목적함수값 측면에서 30~40%의 향상을 나타내고 있다. 즉, 하나의 배송중심지를 추가 설치할 경우의 투자비용이 총 수송비의 30~40% 이내가 된다면, 하나의 배송중심지를 더 설치하는 것이 경제적으로 타당할 것이다.

셋째, 수요가 집중적으로 발생하는 곳에 배송중심지를 설치할 필요가 있다. 즉, 수요가 집중적으로 발생하는 곳에 배송중심지를 설치하는 것이 수송비절감 측면에서 효율적이다.

넷째, 많은 경우에 있어서 3개의 배송중심지를 설

치해야할 위치는 2개의 배송중심지를 설치해야 하는 위치와 중복되어 나타나고 있다.

다섯째, α 가 0인 경우(최대통행거리 최소화문제)에는 최대거리를 최소화하는 유형이므로 망의 무게중심에 배송중심지가 위치해야 하는 것으로 나타났다.

V. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 물류시설의 위치결정을 위하여 평균거리(시간, 비용)를 최소화하는 위치를 결정하는 평균거리 최소화문제와 최대통행거리(시간, 비용)를 최소화하는 위치를 결정하는 최대통행거리 최소화문제를 결합한 이진정수계획모형을 제시하였다. 이진정수계획모형을 제시하는 과정에서는 최대통행거리 최소화문제의 수식수정이 동반되었다. 또한 개발된 모형은 수요의 형태가 상이한 4가지 유형의 망상에서 2개 및 3개의 배송중심지를 설치하는 문제에 적용되었다.

본 연구에서는 결합모형의 수요량의 변화에 대한 고려는 검증이 되었지만 통행거리(시간, 비용)의 변화에 대한 고려는 아직 검증되지 않았다. 따라서 향

후연구과제로서 통행거리의 변화에 따른 민감도 분석 및 검증이 요구된다. 또한, 본 모형을 실제 지역에 적용하기 위해서는 적절한 α 값을 결정할 수 있는 모형식의 개발이 필요하고, 이러한 적용을 통해 본 모형의 적합성에 대한 분석도 필요하다고 생각된다.

본 모형은 배송중심지의 위치를 결정하기 위하여 거리비용만을 고려하고 있는 단순모형이므로 향후에는 건설 및 운영비용 등이 고려된 총체적인 모형의 개발이 요구된다.

참고문헌

1. 국토개발연구원, 1997, "유통단지개발 종합계획 수립 연구".
2. 김현정, 1998, "물류비용 최소화를 위한 배송센터수 결정 및 규제에 따른 비용변화 실험모형 개발", 대한교통학회지, 제16권 제1호, 대한교통학회.
3. JAMES A. TOMPKINS, 1996, FACILITIES PLANNING, John Wiley & Sons.
4. Richard C. Larson, 1981, URBAN OPERATION RESEARCH, Prentice-Hall.