

□ 論 文 □

물류비용 최소화를 위한 배송센터수 결정 및 규제에 따른 비용변화 실험모형 개발

Development of a simulation model of optimum number of depot and
physical cost variation due to regulation for distribution cost minimize

김 현 정

(명지대학교 대학원 교통공학과)

금 기 정

(명지대학교 교통공학과 교수)

— 목 차 —

- I. 서론
- II. 배송센터 최적수 결정을 위한 모형개발
- III. 배송센터 최적수 결정 모의실험
- IV. 규제에 따른 비용변화 모의실험
- V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

— 요 약 —

1960년대 이후 경제규모의 팽목할 만한 성장과 생산규모가 확대되어 비용 최소화를 통한 물류분야의 근대화가 핵심적인 문제로 대두됨에도 불구하고, 체계적이며 효율적인 물류체계의 부재로 인한 물류비의 상승은 산업경쟁력을 약화시켜 물가상승등의 경제불안을 초래하고 있다. 또 가중되는 도시내 교통혼잡과 최근들어 시행되고 있는 도시내 화물차량에 대한 각종 규제로 물류비중 수송비의 비중은 지속적으로 증가되고 있는 실정이다.

이에 따라 사회적으로 물류비를 절감시킬 수 있는 물류시설에 관한 관심이 고조되고 있으며, 국가나 지방자치단체 차원에서도 지역간의 물류거점으로서의 유통단지나 복합화물터미널 등에 대한 필요성이 강조되고 있는 실정이다.

그러나 이러한 지역간 물류거점으로서의 체계 뿐만 아니라 도시내에서의 물류활동 즉 도시내에 위치한 최종소비자를 대상으로한 수·배송은 도시교통 문제와 물류서비스를 최종적으로 실행과 직결되어 있다는 점에서 매우 중요한 의미를 갖는다.

따라서 본 연구에서는 도시내 물류거점 시설인 배송센터를 대상으로 배송센터 1일 가동시 총물류비용 모형을 도출하여 1일 총물류비용을 최소화 할 수 있는 배송센터 최적수 결정 모의실험 모형을 구성하였다.

이와 병행하여 최근 들어 대항화물차량에 대한 도심진입규제, 통행제한 등 각종 화물차량 규제로 인하여 배송형태 변화에 따른 사례를 상정하여 민간 차원에서 규제후 변화된 물류비의 변화 정도와 그 비용을 감소시킬 수 있는 방안의 검토를 시행하였다.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

1960년대 이후 경제 발전과 생산규모의 확대에도 불구하고 효율적인 물류체계의 부재로 인하여 물류비는 지속적으로 증가하고 있다. 한 예로 기업의 매출액 대비 물류비 비중이 일본 8.8%, 미국 7.7%인데 반하여 국내의 경우 14.3%를 차지하고 있어 국가차원에서 뿐만 아니라 기업차원에서의 효율적인 물류체계 확립의 필요성은 더욱 대두되고 있다.

또 이러한 물류비 가운데 수송비가 차지하는 비율이 37.7%로 비중이 매우 높아 수·배송비 저감을 위한 대책 마련이 시급한 실정이다. 그럼에도 불구하고, 가중되는 교통혼잡과 최근들어 시행되고 있는 화물차량에 대한 각종 규제 등으로 인하여 수송비가 차지하는 비중은 더욱 증가되고 이로 인한 물가상승 등 국가 경제의 불균형을 초래하고 있다.

이와 같이 가중되는 물류환경 가운데 도시교통과 밀접한 관계를 갖고 도시내물류의 성격을 반영하면서 비용 부담을 물류현장에서 최소화할 수 있는 물류시설이 수·배송센터라 할 수 있다. 수·배송센터는 생산지나 공장으로부터 소비자(또는 대리점)를 잇는 중간과정의 물류시설로서, 배송대상지역을 분할하여 지역배송센터를 통한 배송을 행함으로써 물류비용을 절감시킬 수 있을 뿐 아니라, 물류서비스의 질을 높일 수 있는 물류시설이다. 따라서 물류비 저감차원 뿐만 아니라 물류서비스의 향상차원에서 배송센터에 대한 관심은 더욱 증대되고 있다.

이처럼, 물류효율화의 의미는 민간차원에서는 기업물류비의 절감이 될 수 있으나, 공공측면에서는 화물유통을 통한 지역간 균형이나 교통량의 집중억제 등 그 관점이 다른 것으로 판단된

다. 그러나 본 연구에서는 민간측면에서의 물류효율화를 위한 물류비 최소화를 목적으로 하는 하나의 방안으로 배송센터의 설치/운영 방안을 고려하였으며, 이를 위하여 물류비가 최소가 되는 배송센터수를 산정하기 위한 모의실험 모형을 개발하였다.

따라서 본 연구에서는 도시내 물류거점으로서 물류비용을 최소화할 수 있는 배송센터수를 결정하기 위하여 물류비용 항목을 배송센터의 물류비 산정을 위한 내용으로 분류/정의하여, 배송에 관한 물류비가 최소가 되는 배송센터수를 제안하고, 기업측면에서 적정한 배송센터수를 산정할 수 있는 모형을 개발하였다.

이와 병행하여 도로교통 환경 문제 등 화물차량에 대한 도심권내 진입규제 등이 점차 강화되고 있는 상황을 감안하여 화물차량에 대한 규제 내용에 따라 증가되는 물류비용 정도를 파악하고 이러한 물류비를 감소시킬 수 있는 방안을 모색하였다.

II. 배송센터 최적수 결정을 위한 모형 개발

본 연구에서는 배송센터 최적수 결정을 위한 물류비 항목을 설정하고, 그것을 바탕으로 배송센터 1일 가동시 총물류비용이 최소가 되는 배송센터수의 결정을 위해서는 우선 1일 총물류비를 산출하기 위한 물류비 항목을 설정해야 할 필요가 있다.

1. 본 연구에서의 물류비 구성

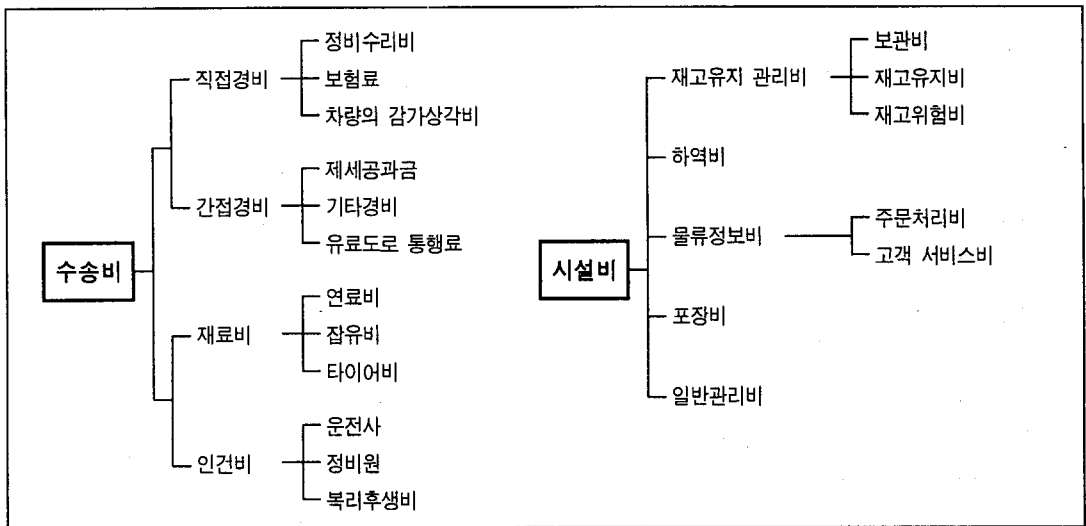
1일 총물류비는 물류시설내의 운용비용과 공장이나 생산지에서 배송센터까지의 수송비, 그리고 배송센터에서 고객이나 점포까지의 배송

비로 크게 분류될 수 있다. 그러나 배송센타수가 증가하면 수·배송비용은 감소하나 시설운영 비용은 반대로 증가하는 Trade-Off관계에서 수·배송비용과 시설운영 비용의 합인 총물류비가 최소가 되는 배송센타수가 배송센타수의 최적수가 된다.

따라서 본 연구에서는 배송대상 지역내의 소비자에게 배송서비스를 제공하기 위해 필요한 비용을 1일 총물류비로 정의하였다. 즉 공장이나 생산지로부터 배송센타까지의 1차 수송비항목은 제외하고 본 연구에서의 수송비는 소비자를 대상으로한 배송비용을 고려하였다.

또 소비자에 대한 수송비와 배송센타의 1일 시설운영 비용을 산출하기 위하여 국내외의 기능별 물류비항목을 검토하여 본 연구에서의 물류비 항목을 분류/정의하였다(그림 1).

즉 본 연구에서는 수송비를 차량고정비와 차량변동비로 구분하고 차량고정비는 차량 1대당 고정적으로 드는 비용으로 차량변동비는 차량의 주행거리나 수송시간 등에 따라 변하는 비용으로 구분하여 산정할 필요가 있다. 따라서 차량고정비는 1일동안 필요한 화물차량 대수에 따라 변화되며 차량변동비는 총수송시간에 따라 변화되는 것으로 정의하였다.



〈그림 1〉 본 연구에서의 수송비와 시설비의 항목 설정

$$C_t = C_{ft} \cdot H_c + C_{vt} \cdot T_c \quad (1)$$

- C_t : 1일 수송비(원/일)
- C_{ft} : 차량고정비(원/대·일)
- C_{vt} : 차량변동비(원/대·시간)
- H_c : 1일 필요차량대수(대/일)
- T_c : 1일 총수송시간(시간/일)

용을 본 연구에서는 시설비로 정의하였으며, 여기에는 하역비, 재고관리유지비, 물류정보비, 설비·기기류 관련비용을 포함되는 것으로 정의하였다.

$$C_s = C_p + C_i + C_{ss} + C_{st} \quad (2)$$

- C_p : 배송센타내 1일 하역비(원/일)
- C_i : 1일 물류정보비(원/일)

또 배송센타내 1일 가동에 따른 시설운영 비

C_{ss} : 1일 설비·기기류 관련비용(원/일)

C_{sr} : 1일 보관/재고유지 관리비(원/일)

$$T_c = L/v \tag{3}$$

T_c : 총배송시간(시간/일 · 1개소)

L : 총배송거리(km/일 · 1개소)

v : 화물차량의 평균주행속도(km/h)

2. 물류효율화를 위한 배송센터 최적수 결정모형 도출

기업 차원에서의 물류효율화는 물류시설과 수 배송과의 상호관계에서 필요비용을 최소화 하는데에 있다. 따라서 물류비를 최소화할 수 있는 배송센터 최적수 결정 모형을 도출하기 위한 본 연구에서의 조건을 다음과 같이 설정 하였다.

$$H_c = T_c / t_{max} \tag{4}$$

H_c : 필요 화물차량대수(대/일 · 1개소)

T_c : 총배송시간(시간/일 · 1개소)

t_{max} : 화물차량 1대당 운행시간

(시간/대 · 운전자 근무시간)

가정① 배송대상지역은 원형지역으로 하며, 배송센터는 이 지역의 중심에 위치한다.

가정② 배송대상지역내의 소비자는 공간적으로 랜덤하게 분포하며, 소비자는 반드시 1 Freight(1단위)의 물품을 소비하는 것으로 한다(=1배송).

가정③ 배송대상지역을 운행하는 차량크기와 평균주행속도는 동일하다.

가정④ 각 배송센터의 규모와 서비스하는 소비자수, 하나의 배송센터가 담당하는 지역의 면적은 동일하다.

가정⑤ 모든 화물차량은 배송센터에서 출발하여 다시 배송센터로 귀속한다.

여기에서 1일 총배송거리를 산출하기 위해서 Capacitated Vehicle Routing Problem(CVRP)에서 도출된 최소수송거리 식을 적용하였다(식 5).¹⁵⁾ Capacitated Vehicle Routing Problem은 대상지역내의 소비자에게 용량이 한정된 화물차량에 의해서 제품이 수송되는 경우의 Vehicle Routing Problem(VRP)이다. 이 경우 화물차량의 적재량이 한정되어 있기 때문에 한대의 차량은 1회 순회시 적재량만큼의 소비자를 방문하여야 한다.

1) 수송비 산출모형

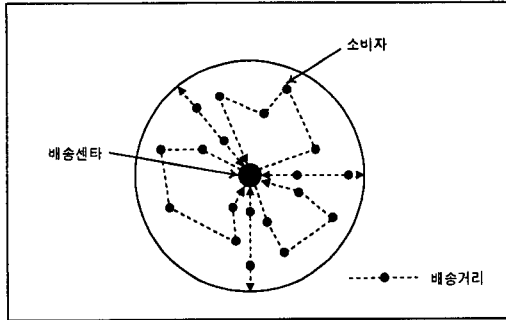
이러한 조건을 바탕으로 본 연구에서는 배송센터 최적수를 도출하기 위한 1일 총물류비를 산출하였다. 먼저 수송비를 산출하기 위해서는 식 (1)과 같이 배송대상지역내의 소비자 전체를 방문하는데 필요한 화물차량 대수와 총배송시간을 구할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 화물차량대수와 총배송시간의 산출을 다음과 같이 구성하였다.

VRP에서의 전제조건에 이러한 조건을 부과한 CVRP에서의 목적함수는 총수송거리를 최소화 하는 것이며, 이를 위한 발견법적(Heuristics)접근이 이루어져 왔다. 따라서 본 연구에서 적용한 수송거리 식 (5)는 CVRP에서 최적해 값의 상한계와 하한계로부터 도출해 낸 발견법적 해(Heuristics solution)로서 여기에서는 방사전상에 위치한 소비자의 경우 왕복수송하는 경우와 방사전상에 위치하지 않은 소비자에 대해서는 순회수송을 행하는 경우의 합으로 구성되어 있다.

$$R^*(X) = 2.0n\bar{\pi} / q + 1.1\sqrt{n\bar{\pi}} \tag{5}$$

$R^*(X)$: 최소배송거리

$\bar{\pi}$: 소비자수



<그림 2> 배송거리의 개념도

- q : 화물차량의 적재중량
- \bar{r} : 소비자 1인당 평균수송거리

이 식에서 지역 S내의 소비자는 균등하게 분포되어 있고 지역 S는 원형지역으로 가정하였으므로 배송센터에서 어떠한 한 소비자까지의 평균거리 \bar{r} 는,¹⁶⁾

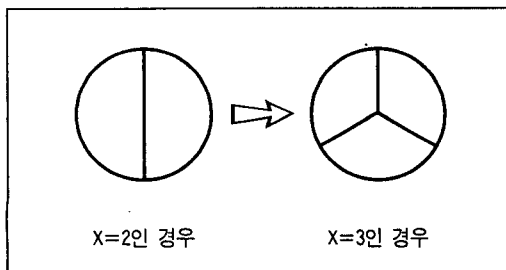
$$\bar{r} = \frac{2}{3}r \quad (6)$$

- \bar{r} : 평균수송거리
- r : 원의 반경

로 나타낼 수 있다. 또 원의 반경은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (7)$$

- A : 대상지역 면적



<그림 3> 식 (9)의 개념도

이와 같은 과정에 따라 최소배송거리를 정리하면 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} R^*(X) &= \frac{4N}{3q} \sqrt{\frac{A}{\pi}} + 1.1 \sqrt{N \frac{2}{3} \sqrt{\frac{A}{\pi}}} \\ &= \frac{4N}{3q} \sqrt{\frac{A}{\pi}} + 0.68 \sqrt{N \sqrt{A}} \end{aligned} \quad (8)$$

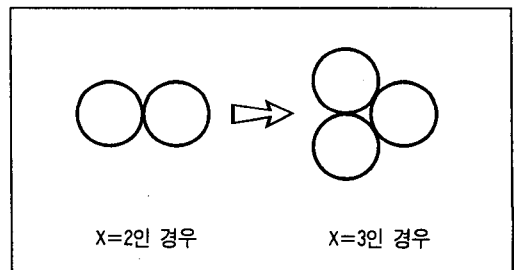
한편 본 연구에서는 지역 S내의 배송센터수를 최소비용 관점에서 효율적으로 결정하는 문제이므로, 배송센터 1개소가 담당하는 지역의 면적 a 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a = A/X \quad (9)$$

- A : 지역 S의 면적
- X : 배송센터수

여기에서는 단순히 원형지역 S의 면적 A 를 배송센터수 X 로 나누어 면적 a 를 구하였기 때문에, 1개소의 배송센터가 담당하는 면적 a 는 <그림 3>과 같이 변화된다. 그러나, 본 모형에서는 배송센터가 담당하는 지역은 원형으로 항상 지역의 중심에 위치하는 것을 가정으로 하였기 때문에 지역 S는 배송센터수가 증가함에 따라 원형의 지역 a 로 분할됨을 원칙으로 하였다(<그림 4>).

이러한 가정은 배송센터수가 증가함에 따라 배송대상지역 면적이나 배송대상 소비자수는 동일하지만 배송대상지역의 형태가 변형되는



<그림 4> 모형 가정조건에 따른 지역 S의 분할

취약점이 있으나, <그림 3>과 같이 해당 지역면적이 일정한 정형화가 안되어 있는 경우 한 지역내에 랜덤으로 분포되어 있다고 가정한 소비자수를 대상으로한 평균 수송거리의 산출이 용이하지 않기 때문이다.

그 반면 대상지역이 반경 r 의 원형인 경우는 적분으로 평균배송거리를 구할 수 있으나 하나의 원이 자체 분할하는 경우에는 그 수에 따라 각기 다른 부정형의 배송거리를 산출해야할 필요가 있다. 단 대상지역의 형태를 원형으로 고려할 수 없는 경우에는 이와 같은 적용에 무리가 있다.

또 배송센터 1개소가 담당하는 소비자수는 $n = N/X$ 로부터 구할 수 있다. 즉 이것은 지역 S 가 분할된 경우에 각 배송센터가 담당하는 소비자수가 동일함을 의미한다. 따라서 본 연구에서 1개소의 배송센터가 담당하는 배송거리는 다음과 같이 동일한 것으로 가정한다.

$$L \approx \frac{4n}{3q} \sqrt{\frac{a}{\pi}} + 0.68 \sqrt{n\sqrt{a}} \quad (10)$$

단 본 연구에서는 하나의 배송센터에서 총배송거리를 식 (10)을 기초로 배송센터의 최적수를 결정하였다. 이와 같은 과정을 통하여 필요한 차량대수와 1일 총배송시간을 산출할 수 있으며 배송센터 1개소당 수송비는 식 (11)에서 산출된다. 그리고 본 모형에서의 가정조건에 따라 하나의 배송센터에서 담당하는 소비자를 서비스하기 위한 수송비는 배송센터수가 증가함에 따라 선형으로 증가하며 지역 S 내의 총수송비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_T = C_I \cdot X \quad (11)$$

C_T : 지역 S 의 총수송비(원/일)

C_I : 1개소의 수송비(원/일 · 1개소)

X : 배송센터수(개소)

2) 시설비 산출모형

본 연구에서의 시설비는 각 배송센터에서의 시설운용비용으로 정의하였다. 그러나 배송센터의 시설운용 비용은 배송센터의 규모나 화물처리 능력 등에 따라 달라질수 있으나, 본 연구에서는 실질적으로 배송센터수가 결정되지 않은 초기단계에서 1일 총물류비용이 최소화되는 배송센터수를 결정하는 문제이므로 배송센터 자체의 규모나 1개소의 배송센터내의 필요인력등 변화요인에 대한 걱정수준을 상정하는데 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 배송센터가 담당하는 지역의 면적이나 그 지역에서의 수 · 배송 대상수가 균일하다는 가정하에 배송센터의 규모는 동일한 것으로 하였다. 또 1일당 필요 물류비용의 과소 정도를 물류효율화의 척도로 사용하였기 때문에 시설비항목에서 배송센터의 초기투자비에 대한 항목은 제외하였다. 따라서 배송센터에서 담당하는 총시설비 C_s 는 식 (12)와 같이 나타낼 수 있으며 각 배송센터에 대한 총시설비는 선형으로 증가하는 것으로 하였다.

$$C_s = C_{sx} X \quad (12)$$

C_{sx} : 1개소 배송센터의 시설비(원/일 · 1개소)

X : 배송센터수(개소)

3. 1일 총물류비 모형의 도출

배송센터 최적수는 1일당 총물류비용이 최소가 되는 배송센터수를 결정하는 문제이므로 우선 1일 총물류비용 모형을 도출하였다. 총물류비는 전체의 배송센터에 필요한 총수송비와 총시설비합으로 총물류비는 다음과 같다.

$$C_L = C_I X + C_{sx} X \quad (13)$$

C_L : 총물류비(원/일)

- C_t : 수송비(원/일 · 1개소)
- C_{sx} : 시설비(원/일 · 1개소)
- X : 배송센타수(개소)

- t_{max} : 화물차량 1일 운행시간(시간/대)
- X : 배송센타수

따라서 지금까지의 과정을 총괄적으로 정리하면 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 C_L &= C_t X + C_{sx} X & (14) \\
 &= (C_{vt} \cdot T_c + C_{ft} \cdot H_c)X + C_{sx} X \\
 &\approx \left\{ C_{vt} \left(\frac{4n}{3q} \sqrt{\frac{a}{\pi}} + 0.68 \sqrt{n\sqrt{a}} \right) / v \right. \\
 &\quad \left. + C_{ft} \left(\frac{4n}{3q} \sqrt{\frac{a}{\pi}} + 0.68 \sqrt{n\sqrt{a}} \right) / (v \cdot t_{max}) \right\} X + C_{sx} X \\
 &= \left\{ C_{vt} \cdot \left(\frac{4n\sqrt{a}}{3qv\sqrt{\pi}} + \frac{0.68 \sqrt{n\sqrt{a}}}{v} \right) \right. \\
 &\quad \left. + C_{ft} \cdot \left(\frac{4n\sqrt{a}}{3qvt_{max}\sqrt{\pi}} + \frac{0.68 \sqrt{n\sqrt{a}}}{vt_{max}} \right) \right\} \cdot X + C_{sx} X \\
 &= \left\{ C_{vt} \left(\frac{4N\sqrt{A}}{3qvX\sqrt{\pi}\sqrt{X}} + \frac{0.68}{v} \sqrt{\frac{N\sqrt{A}}{X\sqrt{X}}} \right) \right. \\
 &\quad \left. + C_{ft} \left(\frac{4N\sqrt{A}}{3qvt_{max}X\sqrt{\pi}\sqrt{X}} + \frac{0.68}{vt_{max}} \sqrt{\frac{N\sqrt{A}}{X\sqrt{X}}} \right) \right\} \cdot X + C_{sx} X \\
 &= C_{vt} \left(\frac{4N\sqrt{A}}{3qv\sqrt{\pi}\sqrt{X}} + \frac{0.68\sqrt{N\sqrt{A}X}}{v} \right) \\
 &\quad + C_{ft} \left(\frac{4N\sqrt{A}}{3qvt_{max}\sqrt{\pi}\sqrt{X}} + \frac{0.68\sqrt{N\sqrt{A}X}}{vt_{max}} \right) + C_{sx} X
 \end{aligned}$$

- C_L : 1일 총물류비(원/일)
- C_{ft} : 차량고정비(원/대)
- C_{vt} : 차량변동비(원/시간)
- C_{sx} : 시설비(원/일)
- A : 대상지역 면적(km²)
- n : 1개소의 배송센타가 담당하는 소비자 수(인)
- a : 1개소의 배송센타가 담당하는 지역면적(km²)
- N : 대상지역내 전체 소비자수(인)
- v : 화물차량의 평균주행속도(km/h)
- q : 화물차량 적재량(Freight)

본 연구에서는 총물류비모형 식 (14)를 기본으로 배송센타 최적수 결정을 위한 모의실험을 행하였다. 지역적 범위는 서울시를 대상으로 하였으며 소비자수(N), 화물차량의 운행시간(t_{max}), 화물차량의 적재량 변화에 따른 1일 총물류비용이 배송센타수가 증가함에 따른 변화에 대한 모의실험을 시행하여 각 조건에서 1일 총물류비용이 최소가 되는 배송센타수를 산출하고 이러한 과정을 용이하게 수행할 수 있는 모형을 작성하였다.

III. 배송센타 최적수 결정 모의실험

1. 기초비용 산출

배송센타 최적수를 상정하기 위하여 먼저 수송비와 시설비에 해당되는 물류비 세부항목에 대한 원가계산을 행하였다. 본 연구에서의 물류비 항목에 대한 원가는 1995년 교통개발연구원에서 연구된 「우리나라 물류비의 결정요인과 추이」¹⁾와 1997년 4월 「물가자료」⁸⁾를 참고하여 산출하였다. 또 배송센타 최적수 결정 모의실험에서는 대상 화물차량 규모를 4톤으로 가정하고 수송비에 포함되는 각각의 물류비 세부항목에 대해서는 4톤 화물차량의 기초 비용을 적용하였다.

또 배송센타내에서 1일당 필요한 시설운용비용을 시설비로 정의하고 본 연구에서의 시설비는 하역비, 물류정보비, 설비·기기류의 감가상각비, 광열비, 보관/재고유지비로 구성하였다. 그러나 이러한 비용은 현실적으로 배송센타의 규모 뿐만 아니라 그 제반 조건에 따라서도 상

〈표 1〉 모의실험 수송비 입력자료⁸⁾

	비 용 항 목	원 가		비 용 항 목	원 가
차 량 고 정 비	차량의 감가상각비	7,647원/대·일	차 량 변 동 비	인 건 비	1,894원/인·시간
	차량의 정비수리비	2,147원/대·일		연 료 비	615원/시간
	보 험 료	4,703원/대·일		잡 유 비	31원/시간
	제세공과금	743원/대·일			

이한 부분이므로 개략적인 가상비용으로 산정하였다.

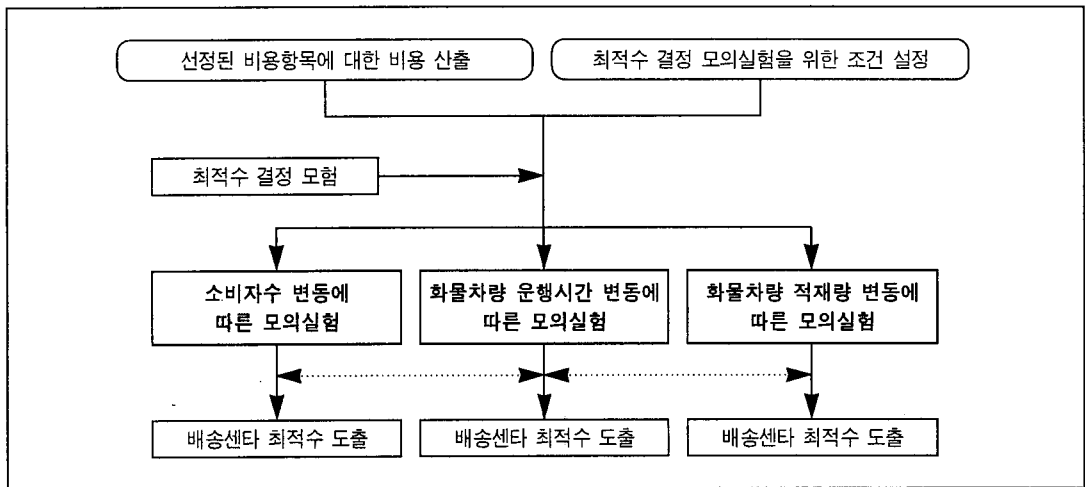
2. 모의실험을 위한 제반조건

본 연구에서는 앞에서 도출된 1일 총물류비용 모형을 바탕으로 배송센터 최적수 결정 모의실험을 행함으로써, 소비자수(M)와 화물차량의 운행시간(t_{max}), 화물차량의 적재량(q)이 변동됨에 따라 1일 총물류비(C_L)의 변화 추이를 분석하여 1일 총물류비가 최소가 되는 최적수를

제안하고, 기업의 여건에 맞는 배송센터 수를 결정할 수 있도록 하였다(그림 5), 〈표 2〉. 그리고 배송센터 최적수 결정을 위한 모의실험에서는 기본 조건을 서울시내 배송을 대상으로 하고 기타 관련 조건은 다음과 같이 설정하여 적용하였다.

3. 모의실험 결과

배송센터 최적수 결정 모의실험을 행하기 위하여 앞서 설명한 바와 같이 소비자수와 화물



〈그림 5〉 배송센터 최적수 결정 모의실험 과정

- 서울시 면적(A) : 605.39km²
- 배송센터내 직원수(N_p) : 10인
- 배송센터 가동시간(t) : 8시간
- 서울시내 평균주행속도(v) : 30km/h

〈표 2〉 모의실험 변수와 제반조건

조건 \ 모의실험 변수	소비자수(N)	화물차량 적재량(q)	화물차량 운행시간(t_{max})
변동범위	100,000 ~ 500,000(인)	100 ~ 150(Freights)	8 ~ 12(시간)
변동단위	100,000(인)	10(Freights)	1(시간)
조건	화물차량 적재량(q) = 75 Freights* 화물차량 운행시간(t_{max}) = 8시간	소비자수(N) = 500,000인 화물차량 운행시간(t_{max}) = 8시간	소비자수(N) = 500,000인 화물차량 적재량(q) = 100 Freights*

차량 운행시간, 화물차량 적재량을 변수로 선정 하였으며, 이러한 변수들의 변동에 따른 비용변 화와 배송센터 최적수의 변화에 대한 모의실험 을 행하였다.

1) 소비자수에 따른 모의실험 결과

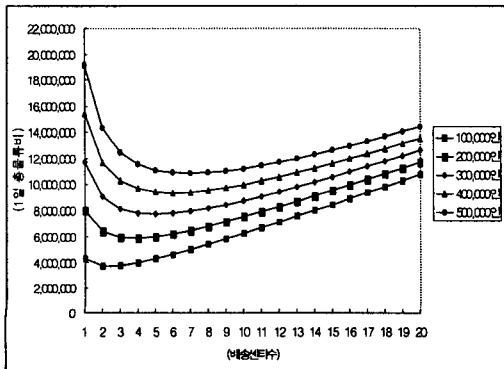
(1) 소비자수(N) 규모에 따른 배송센터 최적수 산출

서울시의 인구는 약 천만명으로 서울시내에 한 물류기업의 소비자수가 서울시 인구의 1%~5% 정도로 가정하여 본 실험에서의 소비자수는 최 소 10만인에서 최대 50만인까지 변동단위는 10 만인으로 설정하였다. 이때 화물차량 운행시간

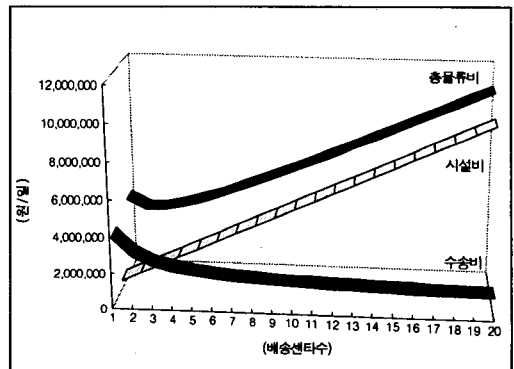
은 8시간, 화물차량 적재량은 75 Freight로 하였 다. 그 결과 소비자수가 증가함에 따라 1일 총 물류비용은 〈표 3〉과 같고, 이 때 1일 총물류비 용이 최소가 되는 배송센터 최적수 분포는 다 음과 같다.

〈표 3〉 소비자수에 따른 배송센터 최적수와 최소 물류비용

	배송센터 최적수	총물류비용 (원/일)
소비자수 10만인	2개소	3,733,509
소비자수 20만인	4개소	5,892,624
소비자수 30만인	5개소	7,715,095
소비자수 40만인	6개소	9,345,803
소비자수 50만인	7개소	10,845,031



〈그림 6〉 소비자 규모에 따른 1일당 총비용분포



〈그림 7〉 소비자수에 따른 비용 추이

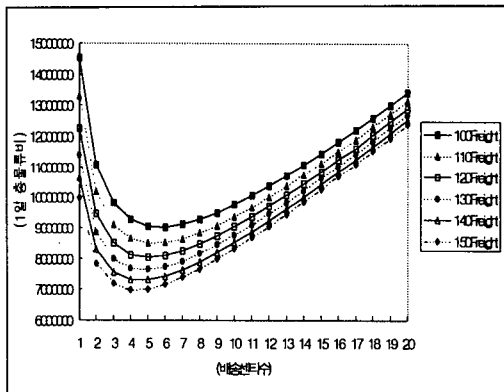
(2) 차량적재량(q) 규모에 따른 배송센터 최적 수 산출

하나의 물류 대상품(Freight)은 소비자를 방문해야 하는 횟수와 일치하는 수로 고려할 수 있다. 그러나 실제적으로 하나의 제품에 대한 크기와 중량은 제품의 종류에 따라 각 크기를 고려할 수 있는 모형 개발이 필요하나 본 연구에서는 동일한 제품의 수량 개념(Freight)으로 적용하였다. 본 실험에서 정한 화물차량의 적재량은 최소 100F에서 최대 150F까지 변동단위는 10F로 설정하였다. 그 결과 화물차량 적재량이 증가함에 따라 1일 총물류비용은 감소하고 이

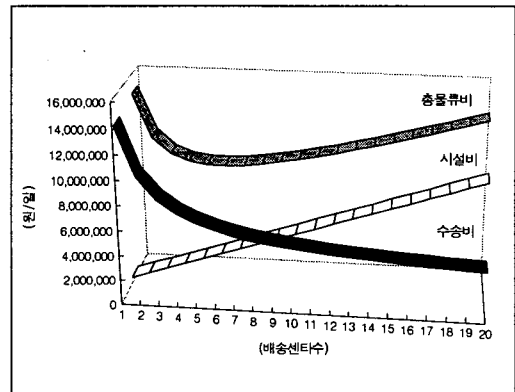
와 함께 물류비용이 최소가 되는 배송센터 최적수도 감소하는 것으로 나타났다.

〈표 4〉 화물차량 적재량에 따른 배송센터 최적수와 물류비용

	배송센터 최적수	총물류비용 (원/일)
100F	6개소	9,030,999
110F	5개소	8,503,175
120F	5개소	8,038,614
130F	5개소	7,645,524
140F	5개소	7,308,589
150F	4개소	6,990,446



〈그림 8〉 적재량 규모에 따른 1일당 총비용분포



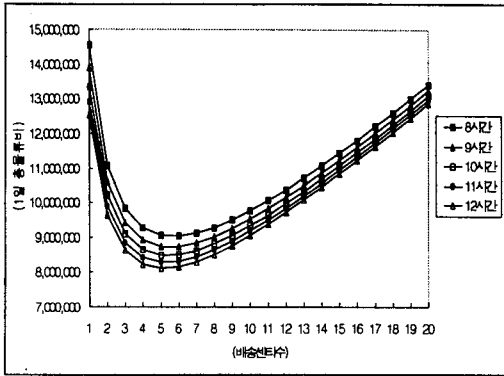
〈그림 9〉 센터수에 따른 비용 추이

(3) 화물차량의 운행시간(t_{max})에 따른 배송센터 최적수 산출

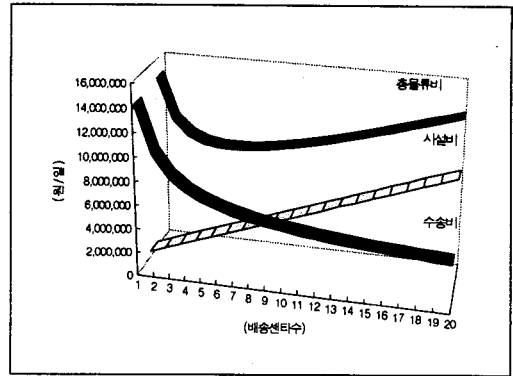
본 실험에서 화물차량의 운행시간은 최소 8시간에서 최대 12시간으로 설정하였으며, 변동단위를 1시간으로 한 모의실험을 행하였다. 그 결과 화물차량 운행시간의 연장과 함께 1일 총물류비용은 감소추세를 나타내었으며, 이때 1일 총물류비용이 최소가 되는 배송센터 최적수도 감소하는 것으로 파악되었다.

〈표 5〉 차량가동시간에 따른 배송센터 최적수와 물류비용

	배송센터 최적수	총물류비용 (원/일)
8시간	6개소	9,030,999
9시간	6개소	8,738,094
10시간	5개소	8,489,736
11시간	5개소	8,282,132
12시간	6개소	8,109,128



〈그림 10〉 차량가동시간에 따른 1일 총물류비용 추이



〈그림 11〉 센터수에 따른 비용 추이

IV. 규제에 따른 비용변화 모의실험

최근들어 교통시설물의 안전에 대한 관심과 화물차량으로 인한 교통혼잡, 대기오염등의 문제가 심화되면서, 서울시 도심내 화물차량 진입이 규제되고 있다. 이로 인한 환경개선의 효과는 향상되나 이로 인한 야간시간대에 배송이 이루어지거나 도심을 피해 우회함에 따라 수·배송을 중심으로한 물류비는 지속적으로 증가되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 배송센터 최적수(물류비용의 최소화) 결정 모의실험과 함께 기존의 배송센터를 소유/운영하고 있는 기업측면에서 화물차량 규제로 물류비에 미치는 영향 정도를 분석하였다. 또 이와 함께 규제로 인한 배송행태의 변화에 따른 물류비 증가에 대한 기업측면에서 물류비를 절감시킬 수 있는 방안에 대한 검토를 시행하였다. 그리고 규제에 따른 비용변화 모의실험을 시행하기 위한 물류비용은 「우리나라 물류비의 결정요인과 추이」와 「물가자료」를 참고로 하고 기업에 관한 기타 제반조건은 가상의 기업을 상정한 모의실험을 행하였다.

본 연구에서는 이러한 규제 내용에 따른 규제전·후의 물류비 분석과 증가된 물류비를 저

감시키기 위한 방안을 통하여 물류효율화를 도모하고자 있다. 따라서 먼저 규제에 따른 모의실험을 행하고자 하는 가상의 기업(A社)을 선정하고 규제에 따른 모의실험을 행하기 위하여 ①야간시간대 배송에 따른 경우와, ②차량규모를 소형으로 축소 운영하는 경우의 사례를 상정하여 모의실험을 행하였다.

- 배송대상지역 : 서울시
- 배송대상지역내에 소유/운영하고 있는 배송센터수 : 3개소
- 배송대상지역내 소비자수 : 100,000인
- 현재 운행중인 화물차량규모 : 4.0톤
- 화물차량 1대당 적재량 : 100F
- 화물차량의 1일 운행시간 : 8시간
- 운행중인 화물차량 보유대수 : 50대

1. 야간시간대 배송에 따른 변화 분석 (사례1)

현재 서울시에 시행되고 있는 도심권 화물차량 규제는 3.5톤 이상의 화물차량에 대해서 07:00~22:00까지, 1.5톤~3.5톤 미만의 화물차량에 대해서는 오전첨두시(07:00~10:00)와 오후첨두시(18:00~22:00)에만 통행규제가 시행되고

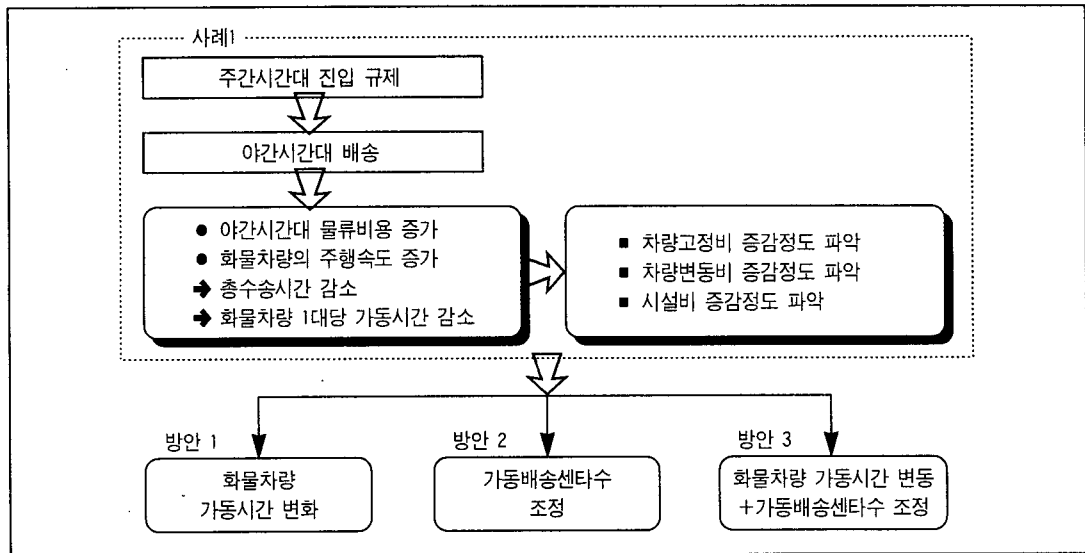
있다.

이러한 배경을 바탕으로 사례1에서는 가상기업 A사가 현재 보유하고 있는 화물차량 규모를 4.0톤인 경우 주간시간대의 도심권 진입이 불가능하여 야간시간대에 수·배송을 행하는 경우를 상정하였다. 이에 따라 야간시간대의 수·배송으로 인하여 물류비에 미치는 영향 정도를 1일 총물류비용 산출모형을 바탕으로 분석하고 물류비 절감을 위한 방안에 대한 검토를 시행

하였다(그림 12). 그리고 기업의 규제전·후 물류비용을 비교하고(표 6), 규제후의 물류비 증가에 대비하기 위한 기업의 비용감소 방안을 차량의 운행시간 연장, 배송센터수의 조정, 그리고 차량규모를 축소하는 한편 적재량 향상과 배송센터수를 조정하는 방안에 대한 각각의 검토를 시행하여 물류비(수·배송비)를 중심으로 한 기업자체내에서 자사의 물류효율화를 검토할 수 있도록 구성하였다.

〈표 6〉 규제 전/후의 총물류비용 증감정도

	규 제 전	규 제 후	증 감 분
차량고정비용	767,709(원/일)	762,000(원/일)	-0.74%(△5,709(원/일))
차량변동비용	1,023,613(원/일)	943,323(원/일)	-7.84%(△80,289(원/일))
시설비용	1,440,000(원/일)	1,572,000(원/일)	+9.17%(△132,000(원/일))
1일 총물류비용	3,231,322(원/일)	3,277,323(원/일)	+1.42%(△46,001(원/일))



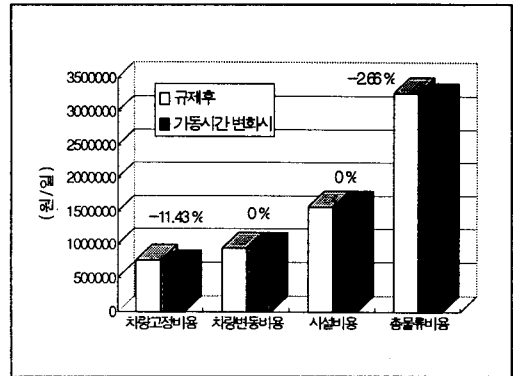
〈그림 12〉 야간시간대 배송에 따른 모의실험 수행과정

그 결과 화물차량 규제에 따른 야간시간대 배송으로 1일 총물류비용이 1.42%증가하는 것

으로 나타났다. 이러한 증가된 물류비를 감소시키기 위한 3가지 방안을 본 연구에서는 ①화물

차량의 운행시간을 연장하는 방안과 ②배송센터수를 조정하는 방안 ③ 그리고 ①과 ②의 방안을 동시에 병행하는 경우에 대한 비용변화 정도를 각각 파악하였다.

이와 같은 조건에서 소비자수 10만인을 대상으로 한 수·배송에서 화물차량의 운행시간을 연장하는 방안에서는 주행속도의 증가와 필요 차량대수의 감소 등 관련요인간의 상호관계에 따라 수·배송비용은 각각 1.07%와 2.66% 감소하는 것으로 파악되었다.



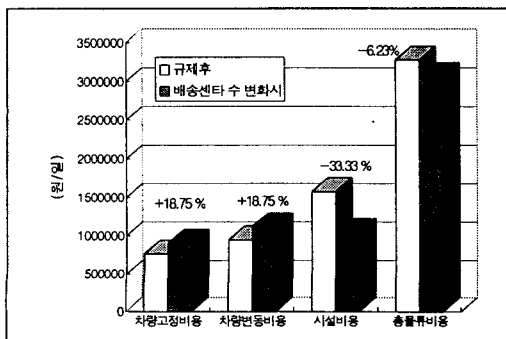
<그림 13> 운행시간 변화에 따른 비용변화

<표 7> 운행시간 변화에 따른 비용증감 결과

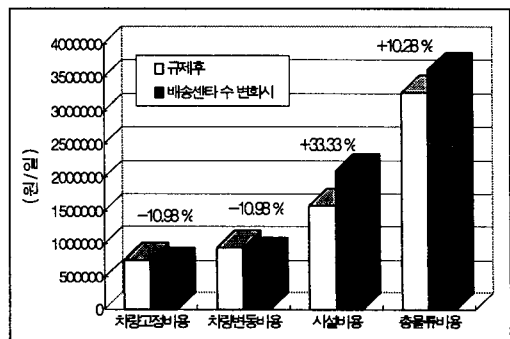
방안	경우	물류비용항목	
	1	화물차량가동시간 6.20 → 6.5 (시간/일)	필요화물차량대수
차량고정비			-4.62%
차량변동비			0.00%
1일 총물류비			-1.07%
화물차량가동시간 6.20 → 7.0 (시간/일)		필요화물차량대수	50→44대/일
		차량고정비	-11.43%
		차량변동비	0.00%
		1일 총물류비	-2.66%

또 현재 3개의 배송센터를 운영하고 있는 가상의 경우에 대하여 배송센터수를 조절하는 방안에 대하여 수·배송센터수를 각각 조정하여

운영하는 방안에 대한 비용 변화에서는 그 수를 2개로 운영하는 방안이 효율적임을 알 수 있다.



<그림 14> 센터수(3→2개소)에 따른 비용변화



<그림 15> 센터수(3→4개소)에 따른 비용변화

이상과 같은 방법으로 차량의 운행시간 연장과 센터수를 병행 조정하는 6개의 방안에 대한 검토에서는 센터수를 3개소에서 2개소로 축소하고 운행시간도 연장하는 경우 수·배송비를

중심으로한 물류비는 약 7.5% 감소하고 전반적으로 센터수를 늘리는 방안에 대한 비용은 증가하는 것으로 파악되었다.

<표 8> 두 방안의 병행실시에 따른 비용변화

경 우	비용항목	증감율	경 우	비용항목	증감율
① 배송센터수 3→2개소 화물차량 가동시간 6.14→6.5 (시간/일)	차량고정비	+13.29%	④ 배송센터수 3→1개소 화물차량 가동시간 6.14→7 (시간/일)	차량고정비	+43.41%
	차량변동비	+18.75%		차량변동비	+61.92%
	시설비	-33.33%		시설비	-66.67%
	총물류비	-7.51%		총물류비	-4.06%
② 배송센터수 3→2개소 화물차량 가동시간 6.14→7 (시간/일)	차량고정비	+5.17%	⑤ 배송센터수 3→4개소 화물차량 가동시간 6.14→6.5 (시간/일)	차량고정비	-19.02%
	차량변동비	+18.75%		차량변동비	-10.98%
	시설비	-33.33%		시설비	+33.33%
	총물류비	-9.39%		총물류비	+8.41%
③ 배송센터수 3→1개소 화물차량 가동시간 6.14→6.5 (시간/일)	차량고정비	+54.44%	⑥ 배송센터수 3→4개소 화물차량 가동시간 6.14→7 (시간/일)	차량고정비	-21.15%
	차량변동비	+61.92%		차량변동비	-10.98%
	시설비	-66.67%		시설비	+33.33%
	총물류비	-1.50%		총물류비	+7.91%

2. 화물차량 규모 변동에 따른 비용변화 분석 (사례2)

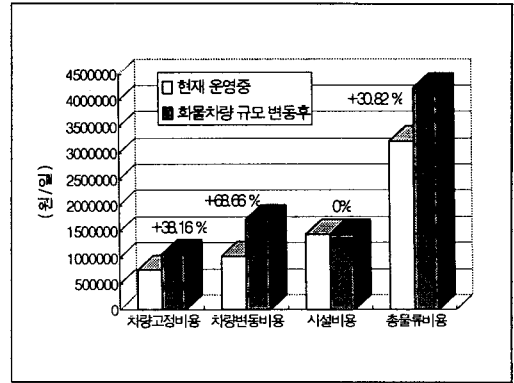
사례 2에서는 사례 1과 동일한 조건에서 대형화물차량에 대한 도심권 진입규제가 시행된 후에 화물차량의 규모를 축소하여 주간시간대에 배송을 하는 경우를 상정하여 분석하였다. 따라서 화물차량규모 축소로 인한 물류비 증감 정도를 파악하고 물류비 절감을 위한 방안을 평가하였다.

우선 대형화물차량에 대한 통행규제가 강화된 후의 대응으로 차량규모를 축소하여 수·배송을 행하는 경우의 비용변화는 총 비용이 규제전에 비해 약 30.8% 증가하는 것으로 파악되었다.

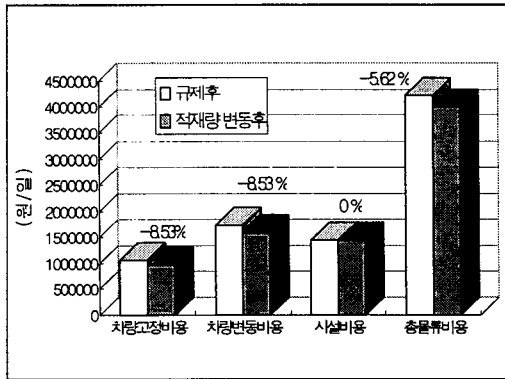
따라서 이와 같은 비용 증가를 저감시키기 위한 기업측면에서의 대응으로 화물차량의 적재량을 운행합리화를 통하여 각각 10%와 20%씩 증가시키는 경우의 분석에서는 1일당 필요한 수·배송비용이 각각 5.6%, 10.3%씩 감소하는 것으로 파악되었다. 한편 수·배송센터수를 조정하는 경우의 비용 변화에서는 3개소에서 2개소로 축소 운영하는 경우 총수송거리와 차량대수가 증가하는 한편 시설비가 감소하는 상호관계에서 총비용은 약 2% 증가하는 것으로 파악되었다. 또 센터수를 1개소로 축소하고 또 4개소로 확대하는 경우의 분석에서는 관계 변수간의 증감관계에서 각각 +21.6%와 +3.4%씩 증가하는 것으로 분석되었다.

규제전		규제후	
소요트럭대수	50 (대/일)	50 (대/일)	50 (대/일)
평균주행속도	50 (km/h)	50 (km/h)	50 (km/h)
트럭1대당 평균주행거리	241,798.30 (km/일)	트럭1대당 평균주행거리	241,798.30 (km/일)
트럭1대당 평균수송시간	3 (시간/일)	트럭1대당 평균수송시간	6.19555 (시간/일)
비용분류		비용분류	
차량고정비용	767,098,8131 (원/일)	차량고정비용	2,209,915 (원/일)
차량변동비용	1,023,612,825 (원/일)	차량변동비용	513,323,368 (원/일)
사실비용	1,440,000 (원/일)	사실비용	157,209 (원/일)
1일 총물류비용(A)	1,721,327 (원/일)	1일 총물류비용(B)	227,723 (원/일)
총물류비용 절감률((A-B)/A) : 1.42358 (%)			

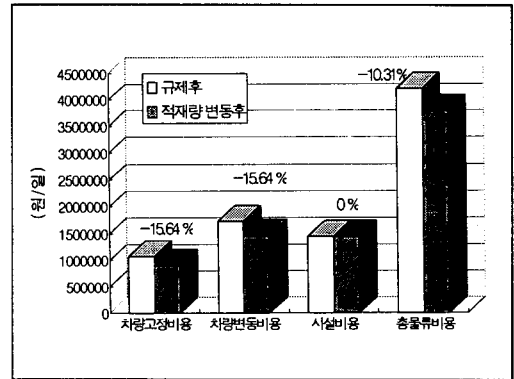
<그림 16> 규제 전/후의 비용변화 화면



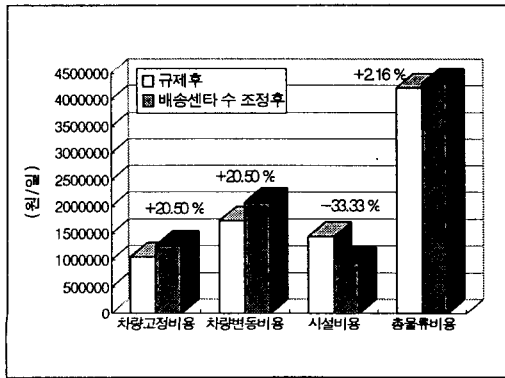
<그림 17> 차량규모 축소에 따른 비용변화



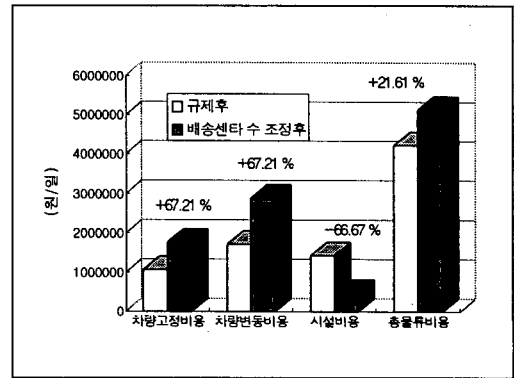
<그림 18> 적재량 변화에 따른 비용변화 (10%)



<그림 19> 적재량 변화에 따른 비용변화 (20%)



<그림 20> 센터수 변화에 따른 비용변화 (3→2개소)



<그림 21> 센터수 변화에 따른 비용변화 (3→1개소)

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 본 연구의 결론

본 연구에서는 도시내 수·배송을 중심으로 한 물류비용의 최소화를 물류효율화의 주된 관점으로 하고 이를 도모하기 위한 물류거점 시설로서 배송센터 최적수를 결정할 수 있는 모의실험 모형을 정립하였다. 그리고 이와 병행하여 도시내에서 도로환경개선등의 이유로 점차 강화되고 있는 화물차량 규제가 물류비 변화에 미치는 영향 정도와 이 변화량을 저감시킬 수 있는 각 방안별 효과를 측정할 수 있는 분석에 주 목적을 두었다. 따라서 이러한 연구 목적에 따라 얻은 결과를 개략적으로 정리하면 다음과 같다.

첫째 우선 본 연구에서는 배송센터 1일 가동에 따른 총물류비용 모형을 산출하기 위하여 기능별 물류비 항목을 바탕으로 물류비 항목을 크게 수송비와 시설비로 구분하였으며, 수송비는 다시 차량고정비와 차량변동비로 구분/정의하였다. 그리고 선정된 물류비 항목과 CVRP(Capacitated Vehicle Routing Problem)에서의 총수송거리 모형을 통하여 수·배송센터의 최적수 결정을 위한 모의실험 모형을 정립하였다.

따라서 이러한 모형을 이용하여 물류현황에 따른 비용 검증과 효율적인 운영관리 방안을 도출하는데 있어서 유용한 역할이 기대된다.

둘째로 정립된 수·배송센터 최적수 결정 모의실험 결과에서는 소비자수가 증가함에 따라 1일 총물류비용이 비례적으로 증가하고 이때의 수·배송센터 최적수도 함께 증가하는 경향을 알 수 있다. 또 화물차량 운행시간이 연장됨에 따라 1일 총물류비용은 감소추세를 나타냈으며 이때의 수·배송센터 최적수도 감소하는 것으로

나타났다. 한편 화물차량의 적재량이 증가됨에 따라 1일 총물류비용은 감소하는 것으로 나타났다. 이때의 배송센터 최적수도 감소하는 것으로 파악되었다.

세째로 도로환경의 보전이나 환경문제의 완화 등을 이유로 점차 강화되고 있는 화물차량 규제에 의한 물류비 증감 정도를 본 연구에서도출된 1일 총물류비용 모형을 통하여 파악하였다. 그 사례로 주간시간대 도심지역의 진입금지 수·배송시간대를 야간시간대로 이동시키는 경우와 수·배송센터수를 조정하는 등의 몇 가지 방안에 대한 비용변화 검토를 행하였다.

그 결과 운행시간을 연장하는 경우와 수·배송센터수를 2개소로 조정하는 경우의 비용이 각각 2.7%, 6.3% 감소하는 것으로 파악되었고 또 두 방안의 병행 시행에서는 총비용이 9.4% 감소하는 것으로 확인되었다.

네째로 대형화물차량에 대한 규제에 수·배송을 위한 화물차량의 규모를 축소하여 운영하는 경우의 비용 증가에 대한 방안으로 적재율 향상 정도와 센터수 조정 그리고 두 방안의 병행 실시에 관한 검토를 행하였다.

그 결과 적재율을 20% 향상시킴에 따라 수·배송을 중심으로한 물류비용은 10.3%, 센터수를 2개소로 축소운영하는 경우에는 시설비의 감소분보다 이동거리 증가로 인한 비용이 상대적으로 커 총비용은 약 2% 증가하는 것으로 확인되었다. 또 센터수를 1개소로 운영하는 경우에도 총비용이 21.6% 증가함을 알 수 있다.

또 두 변수의 병행실시에서는 센터수를 2개소로 하고 적재율을 20% 향상시키면 수·배송 중심의 비용은 약 6% 감소하는 것을 알 수 있다.

다섯째로 이러한 일련의 과정에서 산출된 물류비 변화 정도는 기업의 여건이나 물류비 원단위 등에 따라 변화될 수 있다. 이러한 유동적인 상황에 대처하기 위하여 모의실험 프로그램

을 개발하여 이를 통하여 기업자체내에서 초기 단계에서 自社의 자료를 기초로 효율적인 배송 센터의 적정수를 결정할 수 있도록 그리고 규제에 따라 변동되는 물류비 분석을 통하여 물류효율화를 도모할 수 있도록 하였다.

2. 향후의 연구과제

본 연구에서는 지금까지 배송센터에 대한 최적수 결정과 규제에 따른 물류비 변화 정도를 파악하는데 중점을 두었다. 그러나 본 연구를 수행하는데 따른 실질적 자료의 부족(注: 몇 개의 기업을 대상으로한 접촉 결과 물류비에 관한 자료공개 거부)으로 인한 현실적 접근 곤란 등은 물류분야의 환경을 정확히 이해하고 발전시켜야 할 목적에 있어서 앞으로 개선되어야 할 중요한 문제이다.

또 본 연구에서는 물류비 항목중에서 시설비에 대하여 지대나 건설비와 같은 초기투자비 등은 해당 입지조건에 따라 매우 그 양상을 달리함으로 본 연구에서는 고려하지 않았으나 향후 배송센터 입지에 필요한 토지지가나 초기건설비 등을 고려할 수 있는 향상된 모의실험 모형에 대한 진행이 필요하다.

그리고 무엇보다 대상지역 형태에 관한 가정과 기타 조건을 보다 현실적 가능성을 보완할 수 있는 모형개발이 지속적으로 진행·개발되어야 한다.

참고문헌

1. 권오경, 우리나라 물류비의 결정요인과 추이, 교통개발연구원, 1995. 12.
2. 송계의, 물류센터의 입지선정, 한진교통물류연구원, 1996. 가을호.
3. 송계의, 기업의 물류관리, 21세기 총서, 1996. 9.
4. 교통물류연감, 한진교통물류연구원, 1996.4
5. 이재훈, 물류비절감의 경제효과분석, 교통개발연구원, 1994. 가을.
6. 양지청, 유재영, 유통단지 개발사업 추진전략, 국토개발연구원·한국도로공사, 1996. 6.
7. 서울시 물류교통체계 개선방안에 관한 연구, 서울시정개발연구원, 1995. 12.
8. 월간 물가자료, 한국물가협회, 1997. 4.
9. 西澤 脩著, 物流費の會計と管理, 東京 白桃書房 神田.
10. 西澤 脩著, 物流會計の知識, 日本經濟新聞社, 昭和 57年.
11. 金田數正, OR 入門(科學的 意思決定), 內田老圃, 1991.
12. 久保幹雄, 運搬經路問題, 東京商船大學 流通情報工學, 平成 8年.
13. 都市內 物流システムの 系的 研究, 日本交通政策研究會, 1995.
14. 高田邦道, 物流・交通情報システムの研究, 日本大學理工學府理工學研究所, 平成 6年.
15. M. HAIMOVICH and A.H.G. RINNOOY KAN, "Bound and Heuristics For Capacitated Routing Problem", Mathematics Of Operation Research, Vol. 10, NO. 4, November, 1995.
16. RICHARD C. Larson and Amedeo R. Odoni, URBAN OPERATION RESEARCH, Prentice-Hall, Inc., 1981.
17. MOSHE DROR, "Vehicle Routing with Stochastic Demands: Properties and Solution Frameworks", Transportation Science, 1989.
18. T.WILLIAM CHIEN, "An Integrated Inventory Allocation and Vehicle Routing Problem", Transportation Science, 1989.
19. DIMITRIS J. VERTIMAS, "Traveling Salesman

- Facility Location Problems*", Transportation Science, 1989.
20. DEMAL ALTINKEMER, "Heuristics for Delivery Problems with Constant Error Guarantees", Transportation Science, 1990.
21. A.W.J. KOLEN, A.H.G.RINNOOY KAN and H.W.J.M. TRIENEKENS, "Vehicle Routing with Time Windows", Operatin Research, 1987.
22. CHUNG-LUN LI, DAVID SIMCHI-LEVI, MARTIN DESROCHERS, "On The Distance Constrained Vehicle Routing Problem", Operation Research, 1992.
23. JULIEN BRAMEL, EDWARD G. COFFMAN, JR. and PETER W. SHOR, "Probablistic Analysis Of The Capacitated Vehicle Routing Problem With Unsplit Demands", Operation Research, 1992.
24. MATTEO FISCHETTI, "A Branch-and-Bound Algorithm For The Capacitated Vehicle Routing Problem On Directed Graphs", Operation Research, 1994.
25. JULIEN BRAMEL, "A Location Based Heuristic For General Routing Problems". Operation Research, 1994.