

수송수단에 따른 총물류비용 영향 분석

허 윤 수* · 남 기 찬**

The Impacts of Mode Choice on Total Distribution Costs

Hur, Yun-Su · Nam, Ki-Chan

Abstract

The inventory theoretic models for freight mode choice evaluate transportation-inventory decisions jointly from a total logistics cost perspective in an uncertain demand and lead time environment. This paper reviews the inventory theoretic approach with emphasis on the implementation in stochastic transportation choice models, and applies this approach to evaluate transportation decision.

The major findings are as follows : First, the most appropriate approach is that suggested by Tyworth with P_2 (fill-rate) as a safety stock criterion. Second, the proposed approach is very effective one to evaluate the impacts of lead time and fill-rate on the order quantity(Q) and reorder point(s). To a given situation, for railway transportation and coastal transportation, long lead time appears to be more economic than road transportation(via ODCY) when consistency is at a high level. When road transportation(via ODCY) for the traffic of beverages and groceries is switched to alternative mode, total logistics cost is decreased by about 16% to 28.15%.

1. 서 론

일반적으로 재화의 생산지와 소비지는 공간적으로 떨어져 있으며, 시간적으로도 차이가 있는 경우가 많다. 화물 수송은 재화의 공간적 차이를 극복하여 경제·사회 활동을 원활하게 수행할 수 있는 기본적 기능을 수행한다. 즉 원자재, 제품, 반제품, 완제품의 공간적 이동을 통하여 재화의 장소적 효율과 시간적 효율을 창출하는 것이다. 재고란 원자재, 반제품, 완제품뿐만 아니라 미래의 생산에 사

* 한국해양대학교 물류시스템공학과 대학원

** 한국해양대학교 물류시스템공학과 조교수

용하거나 수요에 대처하기 위해 현재 사용되고 있지 않는 경제적 자원으로 보관을 통하여 시간적 간격을 극복하는 기능을 한다. 이와 같이 물류는 공간적 시간적 간격을 메우는 역할을 하며, 공간적 간격을 극복하는 수송과 시간적 간격을 극복하는 보관이 주요 기능이 된다.

건설교통부 자료에 따르면 1994년 우리나라의 총 물류비는 47조7천억원으로 국내 총생산액(GDP) 대비 15.7%에 달하며, 94년 총 물류비는 84년에 비해 규모면에서 4.2배 증가한 것으로 이 기간동안 년 평균 15.5%의 높은 증가율을 보이고 있다. 총 물류비의 구성은 수송비 65.0%, 재고유지 관리비 23.0%, 포장비 2.3%, 하역비 1.9%, 물류 정보비 3.8%, 일반 관리비 4.1%로 수송비와 재고관리비가 대략 88%에 달하고 있어서 기업차원에서의 수송과 재고관리의 중요성을 알 수 있다.

수송 부문에 있어서 주요 의사결정 문제 가운데 하나는 수단선택이다. 초기 연구에서는 직접 수송비를 중심으로한 비용최소화 관점에서 수단선택 문제를 다루었으며, 그 이후 총 물류비 관점에서 비용이 최소가 되는 수단을 선택한다는 재고이론 모형과 효용극대화 이론을 바탕으로 하여 의사결정자의 행태를 분석하는 이산선택모형(남기찬, 1993) 등이 개발되었다.

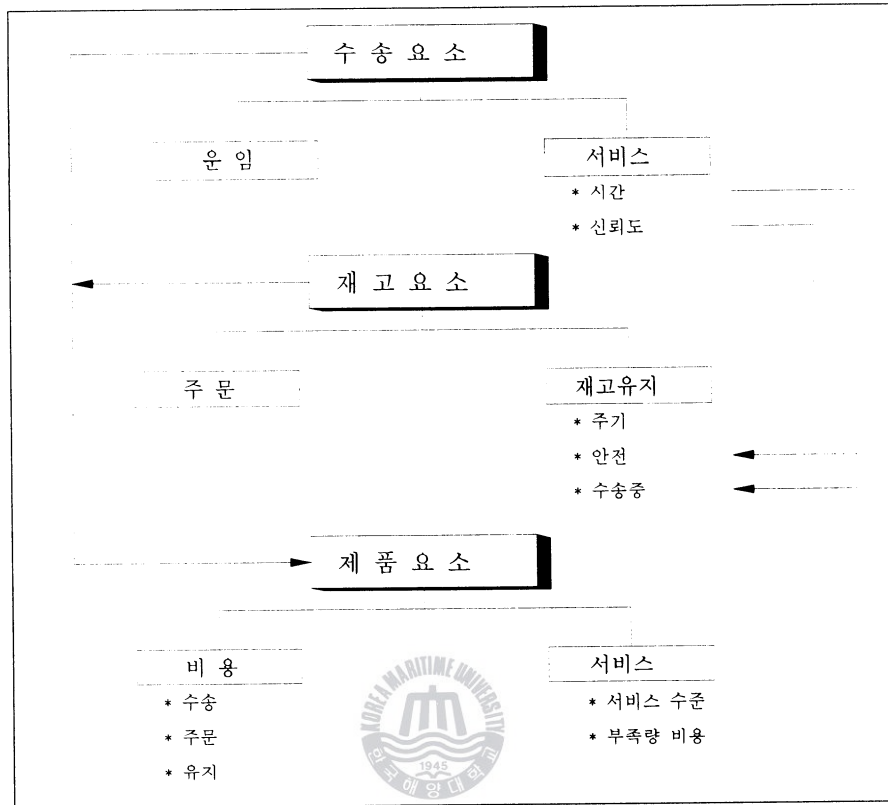
재고 이론에 근거한 수송 수단 선택 모형은 출발지에서 목적지까지의 제품 수송에 소요되는 총 비용을 기초로 불확실한 수요와 리드타임 상황에서 화물 수송 수요에 대한 수송시간과 신뢰도 영향을 평가할 때 특히 유용한 방법이다. 이러한 접근법은 수송과 재고비용간의 트레이드 오프(trade-offs) 분석을 기초로 한다. 즉, 빠른 수송수단을 이용하면 수송비용은 증가하지만 재고수준이 낮아져서 재고비용이 감소되며, 반면에 느린 수송수단을 이용하면 수송비용은 감소하지만 재고수준이 증가하여 재고 비용이 증가하게 된다는 것이다. 이러한 관점에서 제품을 수송하는데 소요되는 총 비용을 도출하고, 비용이 최소가 되는 수송수단을 선택하게 된다.

본 연구에서는 수송비용과 재고비용의 트레이드 오프를 기초로 하는 재고이론모형을 단순화시킨 실제 상황에 적용하여 화물수송수단 선택에 따른 수송수단의 리드타임과 신뢰도의 변화와 기업의 서비스 수준(충족률) 변화에 따른 총 물류비용의 변화를 분석한다.

2. 재고이론에 따른 화물 수송수단 선택 모형

2.1. 이론적인 구조와 물류비용 트레이드 오프(trade-offs)

재고이론을 통한 수송수단 선택 모형은 본래 화물수송 수요의 연구로부터 출발하였으며, 후에 출발지에서 목적지까지의 총물류비용 관점에서 수송과 재고 비용 사이의 트레이드 오프 분석과 해법과정을 포함한다.



자료: Tyworth, J. E.(1992)

〈그림 1〉 재고 이론을 바탕으로한 수송 수단 선택 모형의 이론적인 구조

〈그림 1〉에서 보듯이 재고이론에 근거한 수송수단 선택 모형의 이론적인 구조는 수송, 재고, 그리고 제품 요소로 구성된다. 수송은 각 수단 또는 서비스의 특성을 나타내는 운임, 수송시간, 그리고 수송시간의 신뢰도로 나타난다. 재고는 두 가지 기본 기능 즉, 주문과 주기재고, 안전재고 그리고 수송중인 재고를 포함하는 재고유지로 나타난다. 이때 재고는 수송서비스 요소들과 밀접한 관련이 있다. 수송시간은 안전재고와 수송중인 재고에 직접적으로 영향을 미치며, 신뢰도는 안전재고에 영향을 미친다. 즉, 빠른 수송수단을 이용하면 수송비용은 증가하지만 재고수준이 낮아져서 재고비용이 감소되며, 반면에 느린 수송수단을 이용하면 수송비용은 감소하지만 재고수준이 증가하여 재고비용이 증가하게 된다는 것이다. 안전재고는 불확실한 수송시간 등에 대비하여 보유하는 재고이기 때문에 수송시간의 신뢰도에 의해 직접 좌우된다. 제품은 수송과 재고 요소들이 특정 제품과 결합한 결과이다. 즉, 특정 제품의 수송과 재고특성으로 인하여 발생하는 물류비용(수송, 주문, 재고유지비용)과 제품에 대한 서비스 기준으로서 재고부족량비용 혹은 제품의 서비스 수준으로 이루어진다.

이와 같은 분석은 수요와 리드타임(lead time)이 확실할 때 비교적 간단하지만, 수요와 리드타임이

V : 단위당 제품 가격(원/TEU) R_i : i 수단의 수송비용 ($i=1$ (공로), 2(철도), 3(해송))

첫 번째 항목은 각 주기당 주문비용으로 제품 발주에 소요되는 모든 제반비용으로 발주에 관련된 처리비용, 준비(setup)비용, 통신비용, 취급비용 등을 의미하는 것으로 이러한 주문비용은 수송비용과 재고비용과 달리 주문량에 따라 변화하지 않는다. 단지 연간 주문 횟수에만 관련되어진다.

두 번째 항목은 각 주기당 재고유지비용으로 출발지와 목적지에서의 재고비용으로 구분할 수 있으나 출발지는 항상 많은 목적지를 가진 플렌트나 창고일 경우가 많으며, 그로 인해 아웃바운드(outbound) 빈도가 각 목적지에서의 인바운드(inbound)빈도보다는 많기 때문에 출발지에서 재고유지비용들은 무시하기 쉽고 실질적으로 수단 선택에 영향을 주지 않는다는 것을 관찰하였다(Sheff et al, 1988). 그러므로 목적지에서의 각 제품의 단위당·주기당 재고비용($VY\frac{Q}{D}$)에 (s, Q)모형에서 일반적으로 사용되는 주기당 평균재고수준의 근사치(Q/2)를 곱한 것으로 나타낼 수 있다. 한 주문주기의 시작시점에서 주기재고는 최대인 Q가 되고, 끝나는 시점, 즉 새로운 주문량이 도착하기 바로 직전에 주기재고는 최소인 0으로 줄어든다. 그러므로 이러한 재고들의 평균인 $\frac{Q}{2}$ 는 주기재고를 나타내고 $s-\mu_L$ 는 대략적인 안전재고를 나타낸다.

세 번째 항목은 수송중인 재고유지비용으로 모든 제품은 \bar{t} 의 수송시간을 요구하기 때문에 제품 단위당 $VY\frac{\bar{t}}{365}$ 의 재고유지비용이 도출된다. 마지막 항목은 주기당 수송업자에게 지출되는 수송비용을 의미한다.

결론적으로 식 (1)의 주기당 총물류비용에 연간 평균 주기수 \bar{D}/Q 을 곱함으로써 연간 총물류비용의 함수식은 다음과 같이 도출되어진다.

$$TC_i = \frac{AD}{Q} + VW\left(\frac{Q}{2} + s - \mu_L\right) + VY\frac{\bar{t}_i}{365}\bar{D} + R_i\bar{D} \quad (2)$$

TC_i : 기대 총연간비용 (i : 수송수단)

따라서 문제는 TC_i 를 최소화하고 원하는 서비스(P_2) 목표에 도달하는 s와 Q값과 수송수단을 결정하는 것이다. 이러한 문제의 해결을 위해서, 우선 주문-충족 서비스 수준을 계획하는 목표 부족량으로 전환한 후 기대 부족량(expected shortages)과 비교한다.

TS를 재충족 주기당 단위부족의 목표량으로 정의하면, P_2 의 주문-충족 목표에 대한 연간 목표 단위 부족량은 $(1-P_2)\bar{D}$ 이 된다. 그리고 연간 목표 단위 부족량은 연간 평균 주기 횟수(\bar{D}/Q)를 가지기 때문에 \bar{D}/Q 로 나누어주면, TS는 $(1-P_2)Q$ 로 정의할 수 있다.

ES를 재충족 주기당 기대 단위 부족량으로 정의하면, 감마분포 수요와 확률적 리드타임의 경우에

대한 ES는 아래와 같은 감마분포 손실 함수($G(s)$)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$G(s) = \int_s^{\infty} (L_o - s)f_L(L_o)dL_o \quad (3)$$

여기서 s 는 재주문점이고 $f_L(\cdot)$ 는 L 의 감마분포 확률밀도함수(pdf)이다. L 이 d 와 t 의 와선(convolution)을 나타내고 감마분포를 따른다고 가정하면, $G(s)$ 를 이용하여 ES를 구할 수 있다.

그러나 Tyworth 방법은 d 와 t 의 와선(convolution)보다는 리드타임에 대한 수요의 조건부 확률 분포 집합으로써 L 을 취급함으로써 ES를 계산한다. 따라서, 재충족 주기당 조건부 기대 부족량($E(s | t=j)$)은 다음과 같이 구할 수 있다.

첫째, 기간 수요 d 는 $G(\alpha, \beta)$ 를 따르는 감마분포라고 가정한다. 여기서 α 와 β 는 감마분포의 형태(shape)와 척도(scale) 모수이다. 감마분포를 따르는 d 의 평균(μ_d)과 분산(σ_d^2)은 $\alpha\beta$ 와 $\alpha\beta^2$ 로 정의되어진다. 그리고 감마분포의 모수는 적률법(method of moments)을 이용하여 표본의 평균과 분산으로부터 α 와 β 를 구할 수 있다($\alpha = \mu_d^2/\sigma_d^2$, $\beta = \sigma_d^2/\mu_d$). 더 나아가 d 의 확률밀도 함수(pdf)는 다음과 같이 표현된다.

$$f(d | \alpha, \beta) = \frac{d^{\alpha-1} e^{-d/\beta}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \quad (4)$$



여기서 $\Gamma(\alpha)$ 는 아래와 같이 정의된 감마함수이다.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (5)$$

둘째, 리드타임 t 는 $P_j = P(t=j)$ 가 0값을 가지지 않는 이산확률분포로 가정한다. $j=1, 2, \dots, n$ 에 대해 $t=j$ 일 때의 수요의 조건부 분포는 $G(j\alpha, \beta)$ 이고, 여기서 n 은 최대 리드타임이다. $t=j$ 에 대한 조건부 기대 단위 부족은 식 (6)과 같이 정의 할 수 있으며, 이를 정리하면 식 (7)과 같다.

$$ES_j = E(s | t=j) = \int_s^{\infty} (u-s)dG(j\alpha, \beta) \quad (6)$$

$$E(s | t=j) = j\alpha\beta(1 - G_1(s)) - s(1 - G_o(s)) \quad (7)$$

여기서 G_o 와 G_1 는 감마함수 $G(j\alpha, \beta)$ 와 $G(j\alpha+1, \beta)$ 의 누적분포이다. 따라서 앞에서 언급한 것처럼 재충족 주기당 기대 단위 부족량(ES)은 조건부 기대 부족량의 가중평균(weight average)으로 정의된다.

$$ES = \sum_{j=1}^n P_j ES_j \quad (8)$$

류비용이 절감될 수 있다는 것을 알 수 있다. 피혁제품에서도 이와 유사한 결과가 나타났다.

섬유 및 의류제품의 경우 공로수송(직반출)과 연안해송(직반출)이 동일한 주문량으로 같은 재고수준과 주문 횟수를 유지함으로써 주문 횟수가 타 수송수단보다 많기 때문에 주문/가동비용은 높으나 낮은 재고수준으로 연안해송(직반출)이 철도수송(직반출)보다 기대 총연간비용이 낮게 나타난다. 전체적인 비용항목 측면에서 수송비용이 가장 높은 비중을 차지하여 기대 총연간비용에 큰 영향을 끼치는 것을 알 수 있다.

재고유지비용과 평균 주문량 및 주문 횟수와의 관계는 <표 7>와 같다. 제품에 대한 재고유지비용이 높을수록 주문량이 감소하며 주문 횟수는 많아진다는 사실을 알 수 있다. 이러한 관계를 통하여 재고유지비용과 수송비용간의 트레이드 오프 관계를 파악할 수 있다.

<표 8>은 기대 총연간비용이 가장 높은 수송수단을 가장 낮은 수송수단으로 대체할 때 절감되는 비용의 비율을 나타낸다. ODCY를 경유하는 공로수송에서 직반출하는 철도수송을 이용하면 17.4%~28.7%까지 기대 총연간비용을 감소시킬 수 있다. 이와 같은 분석을 통하여 화주가 적절한 주문량과 재주문점으로 리드타임이 긴 철도수송이나 연안해송을 이용한다면 낮은 수송요율로 인하여 총물류비용을 절감시킬 수 있음을 알 수 있다.

<표 4>

음료 및 식료품

단위 : 원, TEU

항목	수단	공로수송		철도수송		연안해송	
		직 반 출	ODCY경유	직 반 출	ODCY경유	직 반 출	ODCY경유
ETAC		124,636,906	140,354,147	100,849,148	114,362,801	101,231,600	116,927,709
주문량(Q)		15	15	15	15	15	15
재주문점(s)		4.89	9.11	9.11	10.93	10.93	11.49
재고수준		7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68
재고유지비용		12,717,255	12,744,691	12,693,591	12,750,517	12,749,417	12,755,515
주문/가동비		12,687,451	12,687,251	12,687,257	12,687,484	12,687,484	12,687,494
수송비용		99,232,200	114,922,200	75,416,100	88,924,800	75,794,700	91,484,700

<표 5>

섬유 및 의류품

단위 : 원, TEU

항목	수단	공로수송		철도수송		연안해송	
		직 반 출	ODCY경유	직 반 출	ODCY경유	직 반 출	ODCY경유
ETAC		168,386,392	187,428,430	145,625,169	159,619,041	145,063,669	163,476,575
주문량(Q)		12	14	14	14	12	14
재주문점(s)		5.301	10.758	10.559	11.529	10.795	12.65
재고수준		5.87	7.27	6.7	7.01	5.87	7.24
재고유지비용		34,630,071	43,006,508	40,829,736	41,459,692	34,744,892	42,852,512
주문/가동비		34,524,121	29,499,722	29,379,333	29,234,549	34,524,077	29,139,363
수송비용		99,232,200	114,922,200	75,416,100	88,924,800	75,794,700	91,484,700

〈표 6〉 피혁 제품 단위 : 원, TEU

항목 \ 수단	공로수송		철도수송		연안해송	
	직 반 출	ODCY경유	직 반 출	ODCY경유	직 반 출	ODCY경유
ETAC	210,927,572	226,780,427	187,280,907	200,819,217	187,682,567	203,409,056
주문량(Q)	11	11	11	11	11	11
재주문점(s)	5.365	9.733	9.635	10.823	10.8639	11.973
재고수준	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65
재고유지비용	55,936,519	56,099,428	56,106,015	56,135,624	56,129,045	56,165,563
주문/가동비	55,758,852	55,758,799	55,758,792	55,758,792	55,758,792	55,758,793
수송비용	99,232,200	114,922,200	75,416,100	88,924,800	75,794,700	91,484,700

〈표 7〉 재고유지비용과 주문량 및 주문 횟수와의 관계

구 분	재고유지비(%)	평균주문량(Q)	평균주문횟수
목재 및 나무제품	30.8	10	30.40
가죽 및 가방	23.5	11	26.55
섬유 및 의복	21.8	13	23

〈표 8〉 수송수단 대체시 총물류비용 절감

구 분	수송수단	비용절감
음료 및 식료품	공로수송(ODCY) ⇒ 철도수송(직반출)	28.0%
섬유 및 의류	공로수송(ODCY) ⇒ 연안해송(직반출)	22.6%
피혁 제품	공로수송(ODCY) ⇒ 철도수송(직반출)	17.4%

4.2 리드타임과 총족률이 주문량과 재주문점에 미치는 영향

본 연구에서는 Tyworth 접근법을 이용하여 각 수단에 대한 총물류비용을 최소로 하는 주문량(Q)과 재주문점(s)을 구한다. 총물류비용은 불확실한 수요와 각 수송수단의 리드타임에 의하여 영향을 받는다. 리드타임을 나타내는 수송시간과 수송시간의 신뢰도를 나타내는 분산, 그리고 총족률의 변화에 따른 주문량과 재주문점의 영향을 파악한다. 이를 위하여 부산-경인간 수송수단별 수송시간은 이전연구를 기초로 하였으며, ODCY를 경유하는 경우를 기준으로 하여 공로수송(ODCY경유)은 10일, 철도수송(ODCY경유)은 11일, 연안해송(ODCY경유)은 12일을 기준으로 하고 1일 증가되는 경우와 감소하는 경우를 예로 들었다. 분산의 경우 0.2일 간격으로 0에서 1일까지의 변화로 구분하였다.

그리고 주문량과 재주문점에 영향을 끼치는 총족률(fill-rate)의 변화에 따른 재고수준 및 총물류비용을 분석하기 위하여 총족률은 95%를 기준으로 하고 5% 감소하는 경우와 4% 증가하는 경우를 예로 들었다. 각 수송수단에 대한 평균 리드타임과 분산 및 총족률의 변화에 따른 각 수송수단의 주문량(Q)과 재주문점(s)의 변화는 〈표 9〉, 〈표 10〉, 〈표 11〉에 나타나 있다. 이러한 결과를 통하여 각

〈표 10〉와 〈표 11〉는 철도수송(ODCY경유)과 연안해송(ODCY경유)의 경우를 나타낸 것으로써 공로수송의 경우와 마찬가지로 평균 리드타임과 분산 및 총족률이 증가할수록 주문량과 재주문점이 증가한다는 것을 알 수 있으며, 제품 총족률이 재주문점에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타난다. 공로수송의 경우와 비교할 때 리드타임이 동일한 경우(12일) 주문량과 재주문점이 수단마다 거의 동일하다는 것을 알 수 있다. 이는 동일한 리드타임과 분산일 경우 각 수송수단에 따른 주문량과 재주문점이 비슷함으로써 Tyworth 접근법을 통한 최적의 주문량과 재주문점 결정이 타당하다는 것을 의미한다. 결국 이와 같은 재주문점은 다음절에서 분석하는 재고수준에 영향을 끼치며, 재고수준은 총 물류비용에 있어서 수송비용 다음으로 큰 비중을 차지하는 재고유지비용에 영향을 미치게 된다.

4.3 리드타임과 총족률이 재고수준에 미치는 영향

각 수송수단의 불확실한 리드타임과 불확실한 수요에 대처하기 위하여 보유하는 재고수준은 일반적으로 리드타임의 신뢰도가 낮을수록 그리고 고객서비스를 나타내는 제품 총족률이 커질수록 증가한다. 그러므로 총물류비용을 분석하는 모형들은 일반적인 이와 같은 현상을 잘 반영 해야한다. 리드타임과 총족률이 재고수준에 미치는 영향은 〈표 12〉, 〈표 13〉, 〈표 14〉에 나타나 있다. 평균 리드타임과 리드타임 분산의 증가는 재고수준을 증가시키며, 총족률이 증가할수록 재고수준이 증가함을 알 수 있다. 그러나 총족률이 90%일 때 각 수송수단에 있어서 각 리드타임에 대한 분산의 증가는 모두 동일하게 재고수준의 변화를 가져오지 않는다. 이와 같은 현상은 평균 리드타임과 분산의 변화보다 서비스 수준을 나타내는 총족률이 재고수준에 더 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다.

〈표 12〉 리드타임과 분산의 변화에 따른 음료 및 식료품의 재고수준의 변화(공로수송(ODCY경유))

단위 : TEU

리드타임	분산	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
	9	90%	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68
	95%	8.42	8.61	8.70	8.75	8.81	8.86
	99%	10.82	10.92	11.01	11.10	11.18	11.27
10	90%	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68
	95%	8.72	8.77	8.82	8.88	8.93	8.98
	99%	11.03	11.12	11.21	11.30	11.38	11.46
11	90%	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68
	95%	8.85	8.90	8.94	8.99	9.04	9.09
	99%	11.24	11.32	11.41	11.49	11.57	11.65

연구 목적에 맞추어 리드타임 신뢰도 변화에 따른 재고수준의 감소 폭을 살펴보면, 공로수송의 경우 평균 리드타임의 기준인 10일과 총족률 95%에서 리드타임의 분산이 1에서 0으로 감소함에 따라 재고수준은 3% 감소되고 반면에 평균 리드타임의 1일 감소는 3.5%의 재고수준을 감소시킨다. 그러나

충족률 99%에서는 평균리드타임 1일 감소(1.9%)보다 높은 충족률로 인하여 리드타임 분산의 감소(3.8%)가 더 큰 영향을 미친다. 또한 평균 리드타임의 1일 증가는 충족률 95% 수준에서 최대 4.9%의 재고수준 증가를 가져온다. 이것은 충족률이 낮은 수준에서의 평균 리드타임의 감소가 리드타임 분산의 감소보다 재고수준에 더 큰 감소를 가져오며, 99%의 높은 충족률에서는 신뢰도의 증가가 재고수준을 더 크게 감소시킨다는 것을 의미한다. 리드타임이 공로수송보다 긴 철도수송과 연안해송의 경우 충족률에 상관없이 리드타임 분산의 감소가 재고수준을 더 많이 감소시킬 수 있음을 보여준다. 이는 리드타임이 긴 철도수송과 연안해송의 경우 신뢰도가 높을 때 공로수송보다 더 큰 경쟁력이 있음을 의미한다.

<표 13> 리드타임과 분산의 변화에 따른 음료 및 식료품의 재고수준의 변화(철도수송(ODCY경유))

단위 : TEU

리드타임 \ 분산		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
10	90%	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68
	95%	8.72	8.77	8.82	8.88	8.93	8.98
	99%	11.03	11.12	11.21	11.30	11.38	11.46
11	90%	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68
	95%	8.85	8.90	8.94	8.99	9.04	9.09
	99%	11.24	11.32	11.41	11.49	11.57	11.65
12	90%	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68
	95%	8.97	9.01	9.06	9.11	9.16	9.21
	99%	11.43	11.91	11.60	11.68	11.75	11.83

<표 14> 리드타임과 분산의 변화에 따른 음료 및 식료품의 재고수준의 변화(연안해송(ODCY경유))

단위 : TEU

리드타임 \ 분산		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
11	90%	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68
	95%	8.85	8.90	8.94	8.99	9.04	9.09
	99%	11.24	11.32	11.41	11.49	11.57	11.65
12	90%	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68
	95%	8.97	9.01	9.06	9.11	9.16	9.21
	99%	11.43	11.52	11.60	11.68	11.75	11.83
13	90%	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68
	95%	9.08	9.13	9.17	9.22	9.27	9.31
	99%	11.62	11.70	11.78	11.86	11.93	12.01

4.4 리드타임과 총족률이 총물류비용에 미치는 영향

앞에서 언급한 리드타임과 총족률이 재주문점과 주문량에 미치는 영향 및 리드타임 및 총족률의 변화에 따른 재고수준의 변화를 근거로 하여 주문비용과 수송비용을 포함하는 총물류비용을 도출하였다(〈표 15〉, 〈표 16〉, 〈표 17〉).

전체적으로 볼 때 평균 리드타임, 리드타임 분산, 총족률 등이 증가할수록 총물류비용이 증가한다는 것을 보여준다. 그러나 총족률이 90% 수준일 때 리드타임 분산의 증가에 관계없이 총물류비용이 동일하게 나타난다. 이것은 낮은 총족률로 인하여 주문량, 재고수준과 주문 횟수가 같기 때문에 발생하는 것이다. 따라서 낮은 총족률을 요구하는 제품에 대해서는 수송수단의 수송시간 신뢰도 증가로 인한 비용감소 현상은 없으며 단지 수송시간 단축이 총물류비용을 감소시킬 수 있다.

〈표 15〉 리드타임과 분산의 변화에 따른 음료 및 식료품의 총물류비용 변화(공로수송(ODCY경유))

단위 : 원

리드타임 \ 분산	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
9	90%	140,346,718	140,346,718	140,346,718	140,346,718	140,346,718
	95%	140,453,763	140,510,377	140,577,195	140,641,328	140,708,315
	99%	144,482,944	144,619,756	144,754,129	144,885,838	145,014,684
10	90%	140,352,221	140,352,221	140,352,221	140,352,221	140,352,221
	95%	140,612,685	140,675,723	140,739,524	140,804,070	140,869,332
	99%	144,802,435	144,933,403	145,062,145	145,188,469	145,312,221
11	90%	140,357,724	140,357,724	140,357,724	140,357,724	140,357,724
	95%	140,775,929	140,837,727	140,900,177	140,963,257	141,026,942
	99%	145,109,274	145,235,157	145,358,980	145,480,591	145,599,869

〈표 16〉 리드타임과 분산의 변화에 따른 음료 및 식료품의 총물류비용 변화(철도수송(ODCY경유))

단위 : 원

리드타임 \ 분산	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
10	90%	114,354,821	114,354,821	114,354,821	114,354,821	114,354,821
	95%	114,615,285	114,678,323	114,742,127	114,806,672	114,871,931
	99%	118,805,025	118,935,995	119,064,736	119,191,059	119,314,811
11	90%	114,360,324	114,360,324	114,360,324	114,360,324	114,360,324
	95%	114,778,531	114,840,330	114,902,779	114,965,859	115,029,545
	99%	119,111,885	119,237,768	119,361,590	119,483,201	119,602,479
12	90%	114,365,828	114,365,828	114,365,828	114,365,828	114,365,828
	95%	114,938,236	114,998,858	115,060,041	115,121,764	115,184,011
	99%	119,407,674	119,529,065	119,648,541	119,765,983	119,881,288

〈표 17〉 리드타임과 분산의 변화에 따른 음료 및 식료품의 총물류비용 변화(연안해송(ODCY경유) 단위 : 원

리드타임 \ 분산		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
11	90%	116,920,224	116,920,224	116,920,224	116,920,224	116,920,224	116,920,224
	95%	117,338,429	117,400,227	117,462,677	117,525,759	117,589,445	117,653,711
	99%	121,671,785	121,797,668	121,921,490	122,043,101	122,162,379	122,279,225
12	90%	116,925,728	116,925,728	116,925,728	116,925,728	116,925,728	116,925,728
	95%	117,498,136	117,558,758	117,619,941	117,681,664	117,743,911	117,806,650
	99%	121,967,568	122,088,960	122,208,436	122,325,878	122,441,183	122,554,273
13	90%	116,931,231	116,931,231	116,931,231	116,931,231	116,931,231	116,931,231
	95%	117,654,566	117,714,077	117,774,074	117,834,539	117,895,453	117,956,796
	99%	122,253,588	122,370,973	122,486,572	122,600,286	122,712,032	122,821,744

〈표 18〉 수송수단 전환에 따른 총물류비용 변화(음료 및 식료품) 단위 : 원

수송수단 \ 분산		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
공로 (O)	90%	140,352,221	140,352,221	140,352,221	140,352,221	140,352,221	140,352,221
	95%	140,612,685	140,675,723	140,739,524	140,804,070	140,869,332	140,935,278
	99%	144,802,435	144,933,403	145,062,145	145,188,469	145,312,221	145,433,281
철도 (직)	90%	100,846,121 (28.15%)	100,846,121 (28.15%)	100,846,121 (28.15%)	100,846,121 (28.15%)	100,846,121 (28.15%)	100,846,121 (28.15%)
	95%	101,106,585 (28.10%)	101,169,622 (28.08%)	101,233,426 (28.07%)	101,297,972 (28.06%)	101,363,232 (28.04%)	101,429,179 (28.03%)
	99%	105,296,336 (27.28%)	105,427,307 (27.26%)	105,556,046 (27.23%)	105,682,369 (27.21%)	105,806,120 (27.19%)	105,927,178 (27.16%)
철도 (O)	90%	114,354,821 (18.52%)	114,354,821 (18.52%)	114,354,821 (18.52%)	114,354,821 (18.52%)	114,354,821 (18.52%)	114,354,821 (18.52%)
	95%	114,615,285 (18.49%)	114,678,323 (18.48%)	114,742,127 (18.47%)	114,806,672 (18.46%)	114,871,931 (18.45%)	114,937,878 (18.45%)
	99%	118,805,025 (17.95%)	118,935,995 (17.94%)	119,064,736 (17.92%)	119,191,059 (17.91%)	119,314,811 (17.89%)	119,435,870 (17.88%)
해송 (직)	90%	101,224,721 (27.88%)	101,224,721 (27.88%)	101,224,721 (27.88%)	101,224,721 (27.88%)	101,224,721 (27.88%)	101,224,721 (27.88%)
	95%	101,485,185 (27.83%)	101,548,223 (27.81%)	101,612,027 (27.80%)	101,676,572 (27.79%)	101,741,832 (27.78%)	101,807,779 (27.76%)
	99%	105,674,932 (27.02%)	105,805,902 (27.00%)	105,934,643 (26.97%)	106,060,966 (26.95%)	106,184,717 (26.93%)	106,305,777 (26.90%)
해송 (O)	90%	116,914,721 (16.70%)	116,914,721 (16.70%)	116,914,721 (16.70%)	116,914,721 (16.70%)	116,914,721 (16.70%)	116,914,721 (16.70%)
	95%	117,175,185 (16.67%)	117,238,223 (16.66%)	117,302,027 (16.65%)	117,366,572 (16.65%)	117,431,832 (16.64%)	117,497,779 (16.63%)
	99%	121,364,936 (16.19%)	121,495,907 (16.17%)	121,624,646 (16.16%)	121,750,969 (16.14%)	121,874,720 (16.13%)	121,995,778 (16.12%)

4.5 대체 수송수단 선택에 따른 총물류비용 변화

컨테이너 내륙운송 수단별 분담률은 1992년 부산항의 컨테이너 취급량 259만 5천 TEU 중 대부분 공로(85.5%)로 수송되고 있으며 철도수송(12.7%)과 연안해송(1.8%)의 분담률은 아주 저조한 실정이다. 현재 음료 및 식료품의 경우 대부분 공로수송을 이용하고 있으며, 철도나 연안해송을 이용할 경우 총물류비용이 변하게 된다. 따라서 본 절에서는 음료 및 식료품을 대상으로 하여 경쟁관계에 있는 철도와 연안해송으로 수단을 전환할 때 예상되는 총물류비용의 변화를 분석한다. 이를 위하여 수송시간은 공로수송(ODCY경유)과 철도수송(직반출)의 평균 리드타임(10일)을 기준으로 하고 ODCY를 경유하는 철도수송과 연안해송의 경우 직반출과 ODCY를 경유하는 경로를 대상으로 한다. 총족률과 리드타임 분산의 변화는 앞절에서 가정한 것을 사용한다. 즉, 리드타임 분산은 0~1일의 범위로 하고 0.2일 간격으로 구분하였다. 총족률은 90, 95, 99%를 사용한다.

〈표 18〉에서는 공로수송(ODCY경유)을 기준으로 하여 각 수단에 대한 비용과 비용절감 백분율을 나타내고 있다. 공로수송에서 철도수송(직반출)으로 전환할 경우 최고 28.15%의 비용 절감을 가져오며, 연안해송으로 전환할 때에도 약 28%의 비용을 절감할 수 있다. 또한 각 수단에 있어서 총족률과 리드타임의 분산이 증가함에 따라 비용절감은 감소한다는 것을 알 수 있다. 이것은 총족률과 리드타임 분산이 높아질수록 불확실한 리드타임과 제품 수요에 대비하여 보유하는 안전재고의 수준이 높아져서 재고유지비용이 증가하기 때문이다.

V. 결 론

재고이론에 근거한 화물 수송수단 선택 분석의 유효성을 입증하기 위해서 본 연구에서는 현실 상황을 단순화하여 실제 상황에 적용함으로써 본 방법론의 잠재적 유용성을 나타내 보이는 것이 주 목적이다. 수송시간에 따른 재고비용의 영향을 분석하기 위하여 Tyworth의 접근법을 사용하였으며, 기존의 총 비용방정식에 수송중인 재고비용과 수송비용 항목을 추가하였고 안전재고 결정기준으로 P_2 를 사용하였다.

제품별 수송수단 선택에 따른 분석에서는 총물류비용에서 수송비용이 높은 비중을 차지하여 섬유 및 의류제품을 제외하고는 철도수송(직반출)을 이용하는 것이 경제적이며, 재고유지비용 요소가 높을수록 주문량은 감소하고 주문 횟수가 증가함으로써 재고유지비용과 수송비용간에 트레이드 오프 관계가 존재하는 것으로 밝혀졌다.

리드타임과 총족률이 주문량과(Q) 재주문점(s)에 미치는 영향을 분석한 결과 공로수송의 경우 평균 리드타임의 단축이 재고관리 측면에서 유용한 것으로 나타났다. 전체적인 측면에서 평균 리드타임과 신뢰도의 감소는 재주문점을 증가시켜 재고수준을 높임으로써 재고유지비용을 증가시킨다.

리드타임 및 총족률이 재고수준에 미치는 영향을 살펴보면, 낮은 총족률 수준에서는 평균 리드타임

의 감소가 신뢰도 증가보다 재고수준에 더 큰 영향을 미치며, 높은 총족률(99%)에서는 평균 리드타임의 감소보다 신뢰도 증가가 재고수준을 감소시키는 것으로 나타났다. 그리고 리드타임이 긴 철도수송과 연안해송의 경우 신뢰도가 높을 때 공로수송보다 경쟁력이 높음을 보여준다. 수송수단을 전환할 때 얻게되는 총물류비의 절감을 분석한 결과 음료 및 식료품 경우 공로수송(ODCY경유)을 다른 수송수단으로 대체할 경우 16%~28.15%의 범위에서 총물류비용이 절감되는 것으로 나타났다.

이상의 연구 결과를 통해서 Tyworth 접근법을 적용한 수송수단 선택 모형은 화주의 측면에서 각 수송수단에 대한 제품의 최적 주문량과 재주문점을 결정하는데 이용할 수 있으며, 총물류비용을 분석하여 수송수단이나 운송업체를 선정하는데 유용하게 활용할 수 있음을 알았다. 또한 수송시간 및 신뢰도와 총족률의 상대적인 중요성을 분석하는데 있어서도 재고이론에 의한 화물 수송수단 선택 모형이 유용함을 살펴보았다.

본 연구에서는 부산-경인축의 컨테이너 화물 수송을 대상으로 총물류비용에 미치는 수송수단의 영향을 분석하기 위해서 이전 연구와 통계 자료를 토대로 몇 가지 가정을 전제하였다. 특히 현실적인 자료의 한계로 인하여 제품간의 특성을 무시하고 모든 품목별에 대하여 동일한 제품 수요와 이산화물 분포를 따르는 리드타임을 가정하였기 때문에 분석 결과를 해석할 때 이러한 현실적인 한계가 내포한다는 것에 유의할 필요가 있다. 따라서 앞으로의 연구는 보다 장기적인 기간을 두고 제품 특성을 잘 반영하는 수요와 각 수송수단의 수송시간의 분포를 정확히 조사하고 제조업체에서 대외비로 취급되는 각종 비용 항목을 파악하여 현실에 적용할 수 있는 결과를 도출할 필요가 있다. 방법론적인 측면에서는 재고이론에 의한 수송수단 선택 모형이 현실을 보다 잘 반영할 수 있도록 총비용방정식에 대량 구매에 따른 구매 할인요소 및 대량 수송에 대한 효율할인 등을 고려할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- 1) 교통개발연구원(1995), "철도 및 내륙해운을 이용한 화물수송의 문제점과 대책" 연구총서 95-06.
- 2) 남기찬(1993), "화물수송수단 선택모형의 이론 및 적용측면에서의 고찰", 대한교통학회지, 제11권, 1호, pp. 37-54.
- 3) 해운산업연구원(1993), "대량화물유통체계 종합개선방안 연구" 용역보고서 043.
- 4) 허윤수, 남기찬(1997), "재고와 수송의 상관관계에 대한 이론적인 고찰" 대한교통학회지, 제15권, 제1호, pp. 63-83.
- 5) Banks, J. and Spoerer, J. P.(1987), "Inventory Policy for the Continuous Review Case: A Simulation Approach", Annals of the Society of Logistic Engineer, Vol. 1, No. 1, pp. 51-65.
- 6) Banks, J. and Fabrycky, W. J.(1985), Procurement and Inventory Systems Analysis. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall.

- 7) Eppen, G. D. and Martin, R. K.(1988), "Determining Safety Stock in the Presence of Stochastic Lead Time and Demand", *Management Science*, Vol 34, No. 11, pp. 1380-1390.
- 8) Keaton, M.(1995), "Using the Gamma Distribution to Model Demand When Lead Time is Random", *Journal of Business Logistics*, Vol. 16, No. 1, pp. 107-131.
- 9) Kottas, J. F. and Lau, H.(1980), "The Use of Versatile Distribution Families in Some Stochastic Inventory Calculation", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 31, No. 5, pp. 393-403.
- 10) Lau, H. S.(1989), "Toward an Inventory Control System under Non-normal Demand and Lead-time Uncertainty", *Journal of Business Logistic*, Vol. 10, No. 1, pp. 88-103.
- 11) LaLonde, B. J., Cooper, M. C., and Noordeweir, T. G.(1988), "Customer Service: A Management Perspective", Oak Brook, Ill. : The Council of Logistics Management, pp. 41, Appendix A.
- 12) Mentzer, J. T. and Krishnan, R.(1985), "The Effect of the Assumption of Normality on Inventory Control/Customer Service", *Journal of Business Logistics*, Vol. 6, No. 1, pp. 101-120.
- 13) Tyworth, J. E.(1992), "Modeling Transportation-Inventory Trade-offs in a Stochastic Setting", *Journal of Business Logistics*, Vol. 13, No. 2, pp. 97-124.
- 14) Tyworth, J. E., Guo, Y. and Ganeshan, R.(1996), "Inventory Control under Gamma Demand and Random Lead Time", *Journal of Business Logistics*, Vol. 17, No. 1, pp. 291-304.