

□ 論 文 □

재고와 수송의 상관관계에 대한 이론적인 고찰

A Review on the Relationship between Inventory and Transport

허윤수

(한국해양대 대학원)

남기찬

(한국해양대 물류시스템공학과 조교수)

목 차

- I. 서론
 - II. 재고이론에 따른 재고와 수송의 관계
 - 1. 물류비용 트레이드 오프
 - 2. 리드타임과 수요의 가정
 - III. 리드타임 수요에 대한 접근법
 - 1. 전통적인 접근법
 - 2. ffm 방법
 - 3. Tyworth 접근법
 - 4. 각 접근법의 평가
 - IV. 안전재고 문제에 대한 접근법
 - (안전재고 결정 기준)
 - V. 결론 및 추후 연구 방향
 - 1. 문헌조사 결과
 - 2. 추후 연구방향에 대한 제언
- 참고문헌

요 약

수송비와 재고관리비는 총물류비용의 50% 이상을 차지할 정도로 그 중요성이 크며, 이들 두 요소는 상호 밀접하게 관련되어 있어서 비용 트레이드 오프 관계가 존재한다. 이러한 관점에서 제품을 수송하는데 소요되는 총비용을 도출하고 비용이 최소가 되는 수송수단을 선택할 수 있다. 이같은 분석은 수요와 리드타임이 불확실한 경우 수송시간, 고객 서비스 수준, 안전재고 수준, 주문량, 물류비용 등의 관계가 복잡해지기 때문에 해를 구하는 과정이 복잡하게 된다. 따라서 리드타임 동안의 수요를 나타내는 방법과 수송 시간의 신뢰도와 관련된 안전재고 측정 및 기준에 대한 다양한 방법이 재고이론에 근거한 화물수송수단 선택모형 연구의 주 관심사가 된다.

본 연구는 국외에서 발표된 관련 연구들을 중심으로 재고와 수송의 상관관계에 대하여 이론적으로 고찰하여 연구 현황을 밝히고 앞으로의 연구 방향을 제시함으로써 이 분야의 이론적인 발전에 기여하는 것을 목적으로 한다. 연구의 주안점은 확률적 리드타임과 수요에 대한 연구에서 쟁점이 되는 리드타임 동안의 수요를 나타내는 방법과 안전재고를 결정하는 기준에 모아진다.

I. 서론

일반적으로 재화의 생산지와 소비지는 공간적으로 떨어져 있으며, 시간적으로도 차이가 있는 경우가 많다. 물류는 이러한 간격을 메우는 역할을 하며, 공간적 간격을 극복하는 수송과 시간적 간격을 극복하는 보관이 주요 기능이 된다. 1994년 우리나라의 총물류비는 47조7천억원으로 국내 총생산액(GDP) 대비 15.7%에 달한다. 물류비의 구성은 수송비 65.0%, 재고유지관리비 23.0%, 포장비 2.3%, 하역비 1.9%, 물류정보비 3.8% 그리고 일반 관리비 4.1%이며, 수송비와 재고관리비가 약 88%에 달하고 있어서 기업차원에서의 수송과 재고관리의 중요성을 알 수 있다.

수송과 재고는 상호 밀접하게 관련되어 있어서 비용간에 트레이드 오프 관계가 존재한다. 즉, 빠른 수송수단을 이용하면 수송비용은 증가하지만 재고수준이 낮아져서 재고비용이 감소되며, 반면에 느린 수송수단을 이용하면 수송비용은 감소하지만 재고수준이 증가하여 재고비용이 증가하게 된다는 것이다. 이러한 관점에서 제품을 수송하는데 소요되는 총비용을 도출하고, 비용이 최소가 되는 수송수단을 선택할 수 있다.

이같은 분석은 수요와 리드타임(lead time) 요소가 확실하게 알려졌을 때 비교적 간단하지만, 수요와 리드타임이 불확실한 경우 수송시간, 고객 서비스 수준, 안전재고 수준, 주문량, 물류비용 등의 관계가 복잡해지기 때문에 해를 구하는 과정 역시 복잡하게 된다. 따라서 리드타임 동안의 수요를 나타내는 방법과 수송 시간의 신뢰도와 관련된 안전재고 측정 및 기준에 대한 다양한 방법이 재고이론에 근거한 화물수송수단 선택모형 연구의 주 관심사가 된다.

재고와 수송의 관계를 다룬 국내 연구는 소

수(문상원, 1994; 권오경, 1995)에 국한되어 있으며, 이들 연구들은 이론적인 측면을 심도있게 다루기 보다는 현실적인 가정은 바탕으로하여 적용 측면에 초점을 맞추고 있다. 따라서 본 연구는 국외에서 발표된 관련 연구들을 중심으로 재고와 수송의 상관관계에 대하여 이론적으로 고찰하여 연구 현황을 밝히고 앞으로의 연구 방향을 제시함으로써 이 분야의 이론적인 발전에 기여하는 것을 목적으로 한다. 연구의 주안점은 확률적 리드타임과 수요에 대한 연구에서 생점이 되는 리드타임 동안의 수요를 나타내는 방법과 안전재고를 결정하는 기준에 모아진다.

II. 재고이론에 따른 재고와 수송의 관계

1. 물류비용 트레이드 오프(trade-offs)

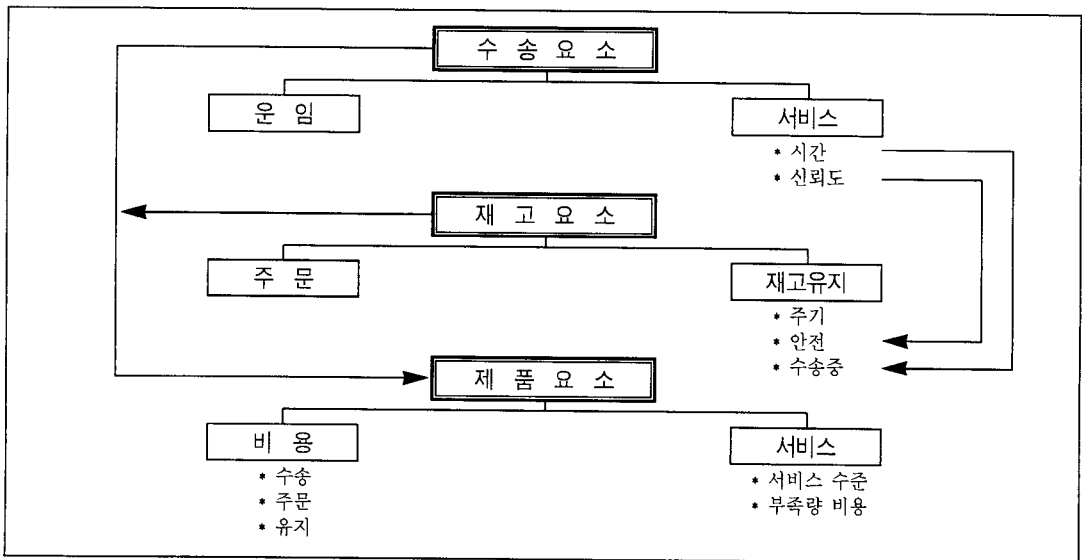
물류비용은 일정기간 동안 기업의 물류활동에 관련된 모든 비용이며, 수송, 보관(재고), 하역, 포장, 물류정보, 물류관리 등에 소요된 비용을 포함한다. 이 가운데 수송과 재고 관련 비용이 전체의 50% 이상을 차지할 정도로 큰 비중을 차지한다. 또한 두 요소는 상호 연관되어 있어서 물류관리는 이들 비용간의 트레이드 오프 관계에 근거한다. 이러한 상호 관계는 수송에 소요되는 시간과 시간의 신뢰도에 의해 설명될 수 있다. 느린 수송수단을 이용하면 수송중인 재고가 크게 증가한다. 수송이 일정한 주기로 이루어지는 경우에 제품은 정기적으로 목적지에 도착하기 때문에 수송 기간의 길고 짧음은 제품의 인도에 큰 영향을 끼치지 않는다고 할 수 있다. 그러나 수송시간이 길어지면 그 만큼 수송중인 재고가 증가하게 되며, 수송 기간 중에 예기치 못한 수요 증가가 발생할 때 수화인

에게 더 큰 피해를 입히게 된다.

수송과 재고의 관계에 있어서 수송시간 만큼 중요한 요소는 수송시간의 신뢰성이다. 주문한 제품이 늦게 도착하거나 수송 경로에서 예상치 못한 지연이 발생한다면 수화인은 손해를 당하게 된다. 이러한 불확실성에 대비하여 일반적으로 화주들은 안전재고를 보유한다. 수송시간이 길어지고 불확실성이 높아지면 수화인은 더 높은 수준의 안전재고를 유지해야 한다. 따라서 재고수준과 안전재고를 결정하는 문제는 수송과 상호 연관되어 있다고 할 수 있다.

재고와 수송의 관계를 구체적으로 살펴보기 위해서 <그림 1>과 같이 수송, 재고, 그리고 제품(product) 관련 요소들의 관계를 설정할 수 있다. 수송은 각 수단 또는 서비스의 특성을 나타내는 운임, 수송시간, 그리고 수송시간의 신뢰도(consistency) 요소로 이루어진다. 재고는 두 가지 기본 기능 즉, 주문(ordering)과 주기재고,

안전재고 그리고 수송중인 재고를 포함하는 재고유지로 나타난다. 이때 재고는 수송 서비스 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 특정 제품과 수송 요소 및 재고 요소들이 결합하여 나타나는 실제 물류비용과 서비스 수준을 결정한다. 즉, 특정 제품에 대한 수송비용, 재고유지비용, 주문비용, 부족량비용 등의 비용항목과 재고 가용성(stock availability) 등의 서비스 요소를 결정한다.



자료: Tyworth, J. E.(1992)

<그림 1> 재고와 수송의 관계

수송-재고비용 트레이드 오프 틀은 <그림 1>의 이론적인 구조를 수식화하고 수송시간이 재고 비용에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 이때 중요한 점은 수요와 수송시간의 불확실성과 이들 불확실성이 안전재고 수준에 미치는 영향이다. 이러한 문제를 쉽게 해결하기 위해서 일반적으로 확률적인 요소들이 특정 분포를 따르는 것으로 가정하고 안전재고를 추정한다. Baumol과 Vinod(1970)는 수송수단과 제품을 수

단속성과 표준 재고이론을 이용하여 추상적으로 표현하고 결합함으로써 처음으로 이러한 틀을 제시하였다.

일반적으로 수송비용과 재고비용간의 트레이드 오프 관계를 분석하기 위하여 고객서비스 수준은 사전에 정해지며, 재고수준은 재고관리 모형에서 많이 쓰이는 재주문점에 의해 관리되는 것으로 가정한다. 이때 재고비용은 다음과 같이 정의되는 평균재고수준을 기준으로 한다.

$$\begin{aligned}
 \text{평균재고수준} &= \text{수송중인 재고의 평균} + \text{판매를 위한 평균재고} + \text{안전재고(수요 및 리드타임의 불확실성에 대비한 안전재고)} \\
 &= 1\text{회 주문량} \times \text{평균 리드타임} \times \text{연간주문횟수} / 365 + 1\text{회 주문량} / 2 + \text{서비스율에 따른 } Z \times \text{리드타임 동안의 수요 표준편차} \\
 &= Q \times \mu_t \times \frac{R}{Q} / \frac{R}{\mu_d} + \frac{Q}{2} + Z \times \sigma_L \\
 &= \mu_d \times \mu_t + \frac{Q}{2} + Z \times \sigma_L \tag{1}
 \end{aligned}$$

- R : 연간 총수요
- μ_d : 일일(또는 기간) 평균수요(d : 일일(또는 기간) 수요)
- μ_t : 평균 리드타임(t : 리드타임)
- σ_L : 리드타임 동안 수요의 표준편차(L : 리드타임 동안의 수요)
- Q : 주기당 주문량

이러한 관계를 통하여 연간총수요(R) 및 일일 수요(d)에 관한 자료가 주어진 경우 주문량(Q), 평균 리드타임(μ_t), 리드타임의 표준편차(σ_t), 일일 수요의 표준편차(σ_d) 등이 기업의 평균재고수준에 미치는 영향을 분석할 수 있다.

이같은 분석은 수요와 리드타임(lead time)이 확실할 때 비교적 간단하지만, 수요와 리드타임이 불확실한 경우 안전재고 수준, 주문량 등이 불확실해지며, 그 결과 리드타임과 수요에 대한 총물류비용 관계가 복잡해지기 때문에 해를 구

하는 과정 역시 복잡하게 된다. 따라서 리드타임 동안의 수요를 나타내는 방법과 수송 서비스와 관련된 안전재고 측정 및 기준에 대한 다양한 방법이 연구의 주 관심사가 된다.

2. 리드타임과 수요의 가정

전술한 것처럼 제품을 주문하여 주문품을 공급받을 때까지 소요되는 시간인 리드타임은 크게 수송시간과 시간의 신뢰도에 의해 결정되는 불확

실한 특성이 있으며, 재고수준과 주문점 결정에 영향을 미치는 수요 역시 불확실한 요소이다.

일반적으로 수송과 재고 비용간의 트레이드 오프 관계를 포함하는 모형들은 리드타임과 수요를 확정적(deterministic)인 것으로 가정하는 접근법과 확률적(stochastic)인 것으로 가정하는 접근법으로 구분할 수 있다. 전자는 제품의 수요율을 정확하게 알고 있으며, 리드타임은 수요와 무관하며 일정하다고 가정하는 것이다. 이것은 복잡한 현실을 단순화하는 많은 가정들을 내포하기 때문에 실제 상황을 잘 반영하기가 어렵다.

리드타임과 수요를 확정적으로 다룬 연구들은 수요가 일정하거나 알려져 있고 리드타임 역시 일정하거나 정규분포, 감마분포 등을 따른다는 가정 하에 수송비용, 재고유지비용, 주문비용, 재고고갈비용 등으로 구성되는 총비용 모형을 개발하였다. 리드타임이 일정하다고 가정한 연구로서 EOQ 모형을 확장한 ETQ 모형을 이용하여 최적의 수송 대안과 로트 크기(lot size) 그리고 경제적 수송량(ETQ)을 결정한 Larson(1988)과 재고유지비용과 수송비용간의 EOQ형 트레이드 오프에 기초하여 각 수송수단에 대한 단위화물 크기(shipment size)를 결정한 Sheffi et al.(1988)가 있다. 리드타임을 정규분포로 가정한 연구로는 무차별 곡선(indifference curve)을 이용하여 수송-재고 모형의 민감도를 분석한 Buffa와 Reynolds(1977)가 있으며, 감마분포로 가정한 연구로는 수단선택과 주문 결정 방법을 제시한 Liberatore(1979)가 있다.

리드타임 또는 수요를 확정적인 것으로 다룬 이들 연구들은 각 상황에서 수송 및 물류 의사 결정에 기여를 하였으나 장래의 제품 수요를 정확하게 알고 있다는 것과 리드타임이 일정하다는 가정을 함으로써 이론적인 한계와 현실적인 상황을 반영하는데 한계가 있다는 단점이 있다.

리드타임과 수요를 확률적으로 다루는 수송 문제의 일반적인 형태는 수요가 독립적인 제품의 수송에 있어서 복수의 수송수단이 이용 가능한 하나의 경로(공급자-수요자)에 한정된다. 여기서 공급자는 공장이나 창고 등의 물류센터이며, 수요자는 최종 소비자에게 제품을 판매하는 기업으로 정의되고, 각 수송수단은 확률적 성격을 띤 수송시간과 운임이 서로 다른 서비스를 제공한다. 즉, 수요자인 기업은 독립적이고 확률적인 개별 고객 수요에 대처하기 위하여 단일 제품을 재고로 저장하며, 보유하고 있는 제품 단위가 일정 수준 이하가 될 때 다양한 수송수단을 이용하여 단일 공급자에게 보충량을 주문한다. 이때 문제는 확률적인 특성을 지닌 수송수단 T , 재주문점 s , 그리고 미리 설정된 서비스 수준에 대한 연간 기대 수송비용과 기대 재고비용의 합계를 최소화하는 주문량 Q 를 결정하는 것이다. 이러한 시스템은 재고관리 관점에서 잘 알려진 (s, Q) 모형을 확장한 것이며, 문제를 해결하기 위해서는 재고유지비용에 대한 수송시간과 신뢰도의 영향을 평가해야 한다.

리드타임과 수요가 확률적임을 가정하면 현실 상황을 보다 잘 묘사할 수 있으나 계산적인 어려움이 따른다. 따라서 많은 연구에서 리드타임 동안의 수요를 더 정확하게 나타내기 위한 접근법과 해법 과정을 간단하게 하기 위한 방법들이 모색되었다. 대표적인 접근 방법으로는 전통적인 접근법, ffm 방법, 그리고 Tyworth 접근법이 있다.

III. 리드타임 수요에 대한 접근법

1. 전통적인 접근법(결합방법)

전통적인 접근법의 일반적인 해법 과정은 3

단계로 이루어진다. 첫째, 수송 효율, 평균 수송 시간과 수송시간의 신뢰도(분산) 등의 속성을 이용해서 각 수송 대안의 특성을 나타내고, 둘째, 기대 총연간비용(estimated total annual costs: ETAC)을 최소화하는 재주문점(s)과 주문량(Q)에 대한 값을 결정하고, 셋째, 각 대안의 ETAC 값을 비교하여 가장 낮은 것을 선택한다. 이러한 과정은 두개의 미지수 s와 Q를 구하기 위하여 리드타임 수요(L)의 분포를 필요로 하기 때문에 L 분포를 모형화 하는 것이 필요하다. 이러한 관계는 아래와 같은 ETAC의 일반적인 식을 통하여 알 수 있다. 식 (2)는 식 (1)을 확장한 형태이다.

$$\begin{aligned}
 ETAC &= \text{주문비용} + \text{재고유지비용} + \text{재고부족} \\
 &\quad \text{비용(stockout cost)} + \text{수송비용} \\
 &= (AR/Q) + VW[\mu_d \times \mu_t + \frac{Q}{2} + Z \times \sigma_t] \\
 &\quad + [k\bar{a}(s)R/Q] + TR \quad (2)
 \end{aligned}$$

A : 주기당(1회) 주문비용
 R : 연간 총수요
 V : 단위당 제품가격
 W : 연간 재고 유지비용(%)
 k : 단위당 재고 부족 비용
 $\bar{a}(s)$: 주기당 기대 부족량
 T : 단위당 수송비용

위의 식에서 리드타임 동안의 수요(L)는 두 번째항에 포함되며, 리드타임 동안의 수요를 분석할 수 있어야 ETAC를 최소화하는 재주문점(s)과 주문량(Q)를 구할 수 있다.

재고 문헌에서는 L을 모형화 하는데 있어서 두 가지 기본적인 방법을 제시한다(Bagchi, et al, 1984). 첫째, 경험적인 데이터로부터 직접 L을 모형화 하는 것이다. 이 방법은 타당한 접근법이지만 이론적이고 실질적인 여러 한계를 내

포하고 있다. 둘째, 리드타임(t)과 수요(d)를 개별적으로 모형화하고 이들을 포함하는 L의 결합 통계 분포(compound statistical distribution)를 도출한다. 전통적인 접근법은 두 번째 방법을 따르며, 재고 제품의 리드타임 수요는 식 (3)과 같이 확률 기간 수요의 확률 합계로 정의된다.

$$L = \sum_{j=1}^i d_j \quad (3)$$

L : 리드타임 수요

d : 기간(period) 수요(독립적이고 정적인 확률 변수)

t : 리드타임(독립적이고 정적인 확률 변수)

대부분의 문헌에서 사용되는 전통적인 접근법은 일반적으로 L을 구하는데 있어서 d와 t의 와선(convolution)을 무시하고 L을 정규분포와 같은 단순한 통계 형태로 둔다. 또한 d와 t의 평균과 표준편차는 알고 있거나 측정할 수 있고, L의 평균과 분산은 식 (4)와 (5)과 같이 d와 t의 평균과 분산을 대입하여 구하는 Fetter와 Dalleck의 계산 방법을 적용한다고 가정한다(Eppen and Martin, 1988).

$$\mu_L = \mu_d \cdot \mu_t \quad (4)$$

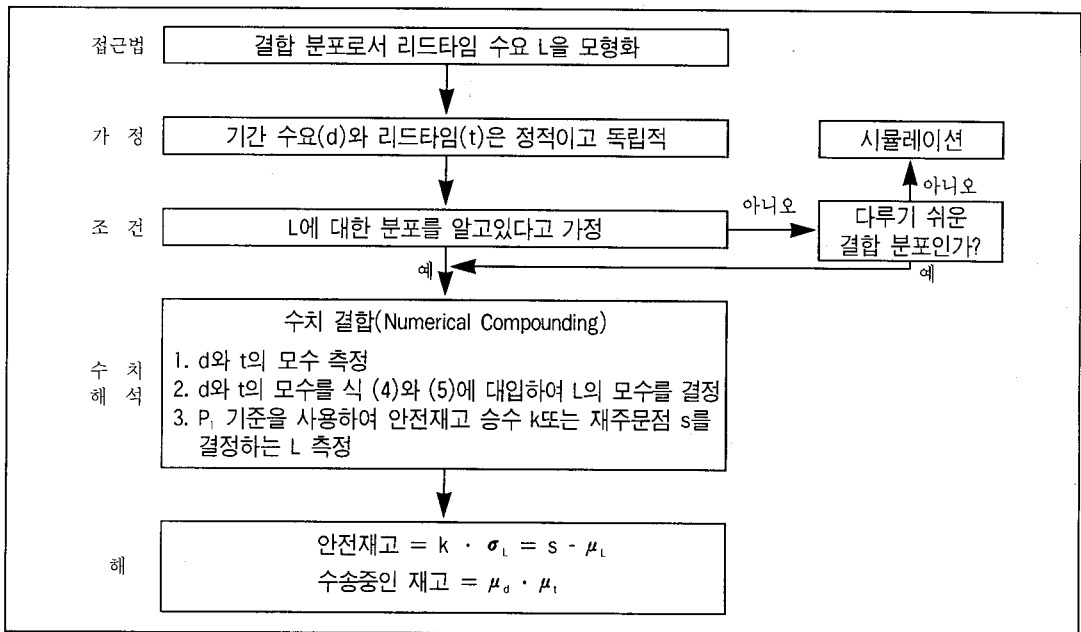
$$\sigma_L^2 = \mu_d \cdot \sigma_d^2 + \mu_t^2 \cdot \sigma_t^2 \quad (5)$$

앞에서 언급했던 이론적인 구조와 일치하는 식 (4)는 수송중인 재고 ($\mu_d \cdot \mu_t$)의 계산에 있어서 수송시간(μ_d)의 영향을 나타내며, 식 (5)은 리드타임 수요의 표준편차(σ_L)와 안전재고($k\sigma_L$)에 대한 수송시간(μ_d)과 신뢰도(σ_t)의 영향을 나타낸다. 안전재고 승수(k), 또는 정해진 서비스 수준을 실현시키는 재주문점(s)을 결정하기 위해서 L을 이용하는 기본 재고이론을 적용하고, 특히 안전재고를 결정하는 서비스 기준으로는

일반적으로 주기당 재고고갈이 발생하지 않을 비율(P_1)을 이용한다.

전통적인 접근법에 있어서 L이 정규분포 등의 특정 분포를 따른다고 가정하지 않는다면 <그림 2>와 같이 L의 결합분포를 도출하기 위해 개별적으로 d와 t를 모형화해야만 한다. 즉,

수송시간 데이터 또는 수요 데이터를 분석하여 적합한 이론적인 확률 분포를 도출하여 t와 d의 개별적인 요소들을 모형화 한다. 이때 도출된 L 분포가 분석적으로 다루기 쉽다면 표준 수치해석 방법을 사용할 수 있으며, 그렇지 않은 경우 시뮬레이션 방법을 사용한다.



자료: Tyworth, J. E.(1992)

<그림 2> 전통적인 접근법의 흐름도

전통적인 접근법을 따른 초기 연구로서 Das(1974)는 Baumol과 Vinod(1970)가 안전재고를 측정하기 위해서 가정한 포아송 분포는 리드타임의 평균과 분산이 같다는 것을 의미하기 때문에 적합하지 않다는 것을 밝히고 Constable(1971)에 이어서 L의 근사치로서 정규분포를 사용하는 것이 타당하다고 주장하였다. 이 외에 리드타임 동안의 수요가 정규분포를

따른다고 가정한 연구로는 수송비용을 계산하는데 화물 요율 할인을 포함한 Stenger et al.(1977), 안전재고 결정 기준으로 부족량 비용모형을 개발한 Constable과 Whybark(1978), 안전재고와 수송비용간의 네트워크 수준에서 트레이드 오프에 초점을 둔 Blumenfeld et al.(1985), 리드타임이 이산확률분포와 연속확률분포의 가정 하에서 EOQ 모형을 확장하여 수

송수단 선택 및 평균 수송시간과 수송시간의 신뢰도에 대한 민감도를 도출한 Allen et al.(1985), 그리고 Langley(1981) 등의 연구가 있다. 국내 연구로서는 제품의 수요와 리드타임이 정규분포를 갖는 것으로 가정하고 수송시간과 신뢰도를 분석한 권오경(1995), 문상원(1996)의 연구가 있다.

전통적인 접근법은 리드타임 수요(L)가 정규분포를 따르고 리드타임(t)과 수요(d)의 평균과 분산은 측정할 수 있다고 가정함으로써 L을 구하기 위해 t와 d의 함수적 형태를 도출하는 과정을 생략하고 계산이 용이한 장점이 있다. 그러나 이 방법은 다음과 같은 두 가지 문제점을 가지고 있다.

첫째, 리드타임 수요(L)에 알맞은 형태의 결합분포(compound distribution)를 도출하는 것이 어렵다(Banks and Spoerer, 1987). Bagchi et al.(1986)는 다양한 L의 함수들 가운데 근사감마(approximate gamma)가 가장 적합하다고 하였다. 그러나 Constable과 Whybark(1979)는 적합도(goodness-of-fit) 테스트에서 감마분포가 수송수단과 수송거리에 민감하다는 것을 밝혔다. 따라서 Bagchi가 주장한 감마분포의 타당성은 보장되지 않는다고 할 수 있다.

둘째, 전술한 이유 때문에 채택한 L이 정규분포라는 가정은 이론적이거나 경험적인 타당성이 부족하다. Kottas와 Lau(1979) 그리고 Eppen과 Martin(1988)은 d, t와 L이 분석 상황에 따라서 각각 다른 분포 형태를 띌 수 있기 때문에 일반적인 통계 형태를 가정하는 것은 적절하지 못하다고 주장한다. Tyworth et al.(1989)에 의하면 리드타임 분포는 양의 방향으로 왜도되며, 리드타임 수요(L) 분포는 주말(weekend)의 교통 영향으로 인하여 비정규 분포 형태를 띠는 경향이 있기 때문에 정규분포로 가정하는 것은 부적합하다고 하였다. 따라서

L이 정규분포를 따른다는 가정은 부적절하며 잘못된 결과를 초래할 수 있다. Eppen과 Martin(1988) 그리고 Lau(1989)는 이와 같이 부적합한 가정은 오차가 큰 재고고갈 확률을 산출할 수 있다는 것을 보였다. 또한, Speh와 Wagenheim (1978), Lau와 Zaki(1982), Mentzer와 Krishnan(1985), Banks와 Spoerer(1987)의 연구에서도 L에 대한 잘못된 가정이 재고비용이나 재고고갈비용을 증가시킨다는 것을 밝혔다.

2. First-four-moments(ffm) 방법

리드타임 수요가 정규분포라는 가정이 부적합함에도 불구하고 정규분포로 가정하는 것이 편리하며, 리드타임 수요가 비정규 분포를 따를 때 이를 다룰 수 있는 편리한 접근법이 없기 때문에 이러한 가정이 널리 사용되었다. 따라서 전통적인 결합 접근법의 한계를 개선하기 위한 연구가 수행되었으며, 대표적인 연구로서 Kottas와 Lau(1980)는 "first-four-moments(ffm)" 방법을 개발하였다.

이 방법은 L을 모수가 두 개(평균과 분산)인 정규분포 대신에 네 개의 모수를 가지는 분포(four-parameter distribution)를 사용하였다. 네 개의 모수를 가진 분포 ffm(평균, 분산, 왜도;skewness, 첨도;kurtosis)은 통계적 분포의 일반적인 형태를 나타내기 때문에 모수가 두 개 이하인 분포(포아송, 정규분포 등)보다 비정규 형태의 분포에 더 적합하다. 따라서 Kottas와 Lau는 리드타임 수요 모형에서 네 개의 모수를 가지는 Schmeiser-Deutsch족 곡선을 사용할 것을 제의하였다.

또한 Kottas와 Lau는 L의 3차와 4차 적률(moment)을 구하기 위해 d와 t의 ffm 추정치를 사용하는 새로운 공식을 제안함으로써 이전의 수치해석을 확장하였다. 이것은 식 (4)와 (5)을

결합하고, L의 평균과 분산을 결정하며, 결합 리드타임 수요 분포의 ffm을 만들어낸다. 이러한 결과 값들은 네 개의 모수를 가진 Schmeiser-Deutsch 곡선에 맞게 사용되고, 재고 고갈 위험(1 - P_i)에 이르는 s값을 결정할 수 있게 한다. 그러나 80년대 말 Lau(1989)는 동일한 틀(framework)을 소개하면서 Pearson족 분포(type I, IV, VI)를 사용할 것을 추천하였다. Pearson 곡선이 네 개의 모수를 가진 다른 분포보다 더 정확하지는 않지만 Schmeiser-Deutsch 곡선보다 안전재고량을 결정하는데 좀 더 편리한 과정을 제공한다고 하였다.

d와 t의 평균, 분산, 왜도를 반영하는 3차 적률(third moment), 그리고 첨도(kurtosis)를 반영하는 4차 적률(fourth moment)을 나타내는 ffm 방법은 표준 통계 계산에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{평균} &= \mu_1 = [\sum x_i f_i] / \sum f_i \\ \text{분산} &= \mu_2(d) = [\sum (x_i - \mu_1)^2 f_i] / \sum f_i \\ \text{3차적률} &= \mu_3(d) = [\sum (x_i - \mu_1)^3 f_i] / \sum f_i \\ \text{4차적률} &= \mu_4(d) = [\sum (x_i - \mu_1)^4 f_i] / \sum f_i \end{aligned} \quad (6)$$

동일한 방법으로 리드타임 t의 ffm을 구할 수 있으며, 리드타임 수요 L이 $L = \sum_{j=1}^n d_j$ 로 정의되고 d와 t의 ffm이 주어지면, L의 ffm은 아래의 공식에 따라 계산될 수 있다(Wan and Lau, 1981).

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \mu_1 \mu_t \\ \mu_2(L) &= \mu_d^2 \mu_t(t) + \mu_t \mu_2(d) \\ \mu_3(L) &= \mu_d^3 \mu_t(t) + \mu_t \mu_3(d) + 3\mu_d(d) \mu_2(t) \\ \mu_4(L) &= \mu_d^4 \mu_t(t) + \mu_t \mu_4(d) + 4\mu_d(d) \mu_3(t) \\ &\quad + 6\mu_d^2 \mu_2(d) \mu_t \mu_2(t) + \mu_3(t) \\ &\quad + 3[\mu_2(d)]^2 [\mu_t^2 - \mu_t + \mu_t(t)] \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)로부터 L의 왜도와 첨도는 각각 다음 식과 같이 나타난다.

$$\beta_1(L) = [\mu_3(L)]^2 / [\mu_2(L)]^3 \quad (8)$$

$$\beta_2(L) = \mu_4(L) / [\mu_2(L)]^2 \quad (9)$$

L의 ffm이 주어지면 주어진 재고고갈 위험 α (또는 주어진 s에 대한 α)에 대한 재주문점(s)을 결정하기 위해 L의 밀도함수가 결정되어야 한다. L이 정규분포이거나 피어슨분포라고 가정한다면 식 (7)에서 단지 μ_1 과 μ_2 만이 필요하며 s를 다음과 같이 간단하게 구할 수 있다.

$$s = \mu_1 + z_\alpha \sqrt{\mu_2(L)} \quad (10)$$

여기서 z_α 는 표준 정규(또는 피어슨) 변량의 표에서 (1- α)번째 분위수(fractile)이며, 두 번째 항은 안전재고를 의미한다. 따라서 두 번째 항은 왜도와 첨도 값을 가지는 밀도함수를 필요로 한다.

L이 와이블분포라고 가정하면 L의 누적밀도함수(cumulative density function)는 아래와 같다(Hahn and Shapiro, 1968).

$$F(L) = 1 - \exp\{-[(L-h)/a]^c\} \quad (11)$$

위 식은 3개의 모수만을 가지기 때문에 와이블분포는 식 (7)에서 first three moments(ftm)에만 적용된다. 그리고 구한 모수값(h,a,c)을 식 (11)에 대입하여 L값을 구할 수 있으며, 이때 L값은 재주문점 s값이 된다. 또한 식 (10)에 s값을 대입하여 z를 구할 수 있고, 식 (9)을 이용하여 와이블분포의 모수값으로서 첨도 β_2 를 구할 수 있다(Lau, 1989).

리드타임 수요(L)를 나타내는 적합한 밀도함수는 계산상의 어려움과 결과의 정확도를 고려

하여 결정된다. Lau는 피어슨분포가 와이블분포보다 계산이 간단하며, 정규분포는 약 21%의 안전재고 오차를 초래한다고 밝혔다. 따라서 Lau는 피어슨족 분포(I, IV, VI)를 사용할 것을 추천하였는데 이것은 다음과 같은 두 가지 의미를 가진다. 첫째, 리드타임 수요 분포를 측정하고 모형화 하는데 있어서 간단한 ffm 접근법을 제시하였다. 본 접근법은 일일 수요, 리드타임 및 리드타임 수요 분포가 다양한 형태를 띌 수 있다는 것을 인정하며, 여러 형태의 분포들을 효과적으로 기술하고, 일반적인 재고 자료를 통하여 쉽게 계산할 수 있다는 장점이 있다. 둘째, ffm으로 재주문점(s) 또는 목표 서비스 수준을 결정하는 방법을 제시하였다.

ffm 방법이 전통적인 방법보다 더 정확한 결과를 도출하는 장점이 있지만 몇 가지 한계를 내포한다. Kottas와 Lau에 의하면 실제 분포는 ffm에서 사용한 피어슨(Pearson) 곡선 형태와 맞지 않는 경우가 많다. 이같은 경우는 일반적으로 리드타임 수요가 바이모달(bimodal) 형태일 때 발생한다. 적용 측면에서의 문제로서, Banks와 Spoerer(1987)는 두개 이상의 모수를 가지는 분포를 분석가는 쉽게 사용하지 않으며, 사용한다고 해도 요구되는 것과 같이 정확하게 계산하지 않을 수 있다고 언급했다. 결론적으로 Pearson 곡선이 모수가 2개 이하인 이론적 통계 분포보다 비정규 형태에 일반적으로 더 가까운 근사치 모형을 도출하지만 이러한 모형이 반드시 올바른 해를 도출하는 것은 아니며, 더 나아가 실용성은 불분명하다.

3. Tyworth 접근법

전통적인 결합 접근방법의 한계를 개선하기 위하여 Tyworth(1992)는 안전재고에 미치는 리드타임의 영향을 결정하는 새로운 방법을 소개

하였다. 이것은 기간(period) 수요와 리드타임에 대한 확률 변수가 정적이고 독립적이라는 전통적인 가정을 따르지만, 리드타임 수요에 대해서는 리드타임 범위에 대하여 수요의 조건부 확률분포가 "convex combination"을 이룬다는 Bank와 Fabrycky(1985) 그리고 Eppen과 Martin(1988)의 주장을 채택한다. 즉, 결합분포로서 L 대신 조건부 기간 수요분포($d_{j|t}$)의 convex combination을 이용하는 것이다. 이는 기간 수요가 정규분포(μ, σ)나 포아송분포(τ)를 따르고 리드타임 t 가 $j=1, \dots, n$ 인 확률 P_j 값을 취할 때 convex combination에서 리드타임 수요의 조건부 확률분포($d_{j|t}$)가 평균 $j\mu$ 와 분산 $j\sigma^2$ 인 정규분포이거나 평균과 분산이 $j\tau$ 인 포아송분포를 나타낸다는 것이다. 이러한 속성은 L 형태에 대한 지식 없이 안전재고 수준에 대한 신뢰도와 수송시간의 영향을 정확하게 측정할 수 있게 한다. 그리고 일반적인 연속확률분포의 이산 근사치를 포함하여 리드타임의 어떤 이산확률분포도 이용할 수 있다.

Tyworth 접근법에서 연간 기대 부족량(ES)은 다음과 같이 정의된다.

$$ES = (1 - P_2) \cdot R \quad (12)$$

$$ES = G_u(k)\sigma_L \cdot R/Q \quad (13)$$

식 (12)에서 ES는 충족되지 않는 연간 판매 비율($1 - P_2$)에 연간 수요(R)를 곱한 것이다. 마찬가지로, 식 (13)의 함수 $G_u(k)$ 는 기대 부족량을 나타내는 단위 정규분포의 특수함수이며, ES는 재충족 주기당 기대 부족량($ESPRC = G_u(k)\sigma_L$)에 연간 주기 횟수(R/Q)를 곱한 것이다. 그러므로 재충족 주기당 기대 부족량(ESPRC)은 식 (12)과 (13)를 정리하여 다음과 같이 도출된다.

$$ESPRC = (1 - P_2) \cdot Q \quad (14)$$

정해진 s에 대하여 ESPRC를 결정하는 다른 방법은 식 (15)과 같이 리드타임 t가 j와 같은 확률(P_j)을 가중하여 각 기간 수요의 조건부 분포($d_{t=j}$)에 대한 재충족 주기(replenishment cycle)당 기대 단위 부족(ESPRC(j))의 합계를 계산하는 것이다.

$$ESPRC = \sum_{j=1}^t ESPRC_j \cdot P_j \quad (15)$$

리드타임 t와 j가 동일할 때 기간(period) 수 요는 정규적으로 분포하기 때문에 주기당 조건부 기대 부족량(shortage)은 다음과 같이 전통적인 방법에 의해서 정의된다.

$$ESPRC_j = G_u(k_j) \cdot \sigma_j \quad (16)$$

여기서

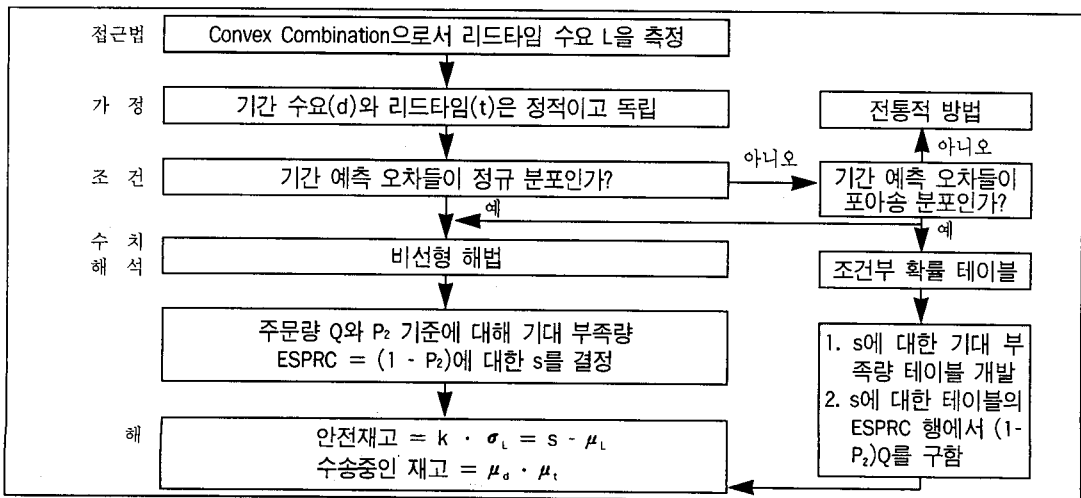
$$k_j = u(s) = \frac{(s - \mu_j)}{\sigma_j}, \quad \sigma_j = \sqrt{j \cdot \sigma_e}, \quad \mu_j = j \cdot \mu_e$$

f_e : 기간 예측 오차의 표준편차

$G_u(k_j)$ 는 아래와 같은 Brown의 근사치 공식 ($\pm 0.4\%$)을 이용한다.

$$G_u(k_j) \approx -0.5 \cdot k_j - \frac{9.8575631}{8.189133 + k_j^2} + \frac{172025.85 + 6998.8869k_j^2}{107496.82 + 623.3668k_j^2 + k_j^4} \quad (17)$$

$G_u(k)$ 는 합성(composite) 함수 $G_u(u(s))$ 이기 때문에 s값은 4차(degree four) 다항 함수의 0값을 찾는 것이다(Newton-Raphson과 Lehmer-Schur 방법과 같은 비선형 해법과정 사용). 우선 정해진 P_2 와 Q의 값에 대하여 식 (14)에서 ESPRC를 구한다. 그리고 k_j 값을 식 (17)에 대입하여 $G_u(k_j)$ 값을 구하고 이를 식 (16)에 대입하여 $ESPRC_j$ 를 구하면 식 (15)에서 재충족 주기당 기대 부족량을 구할 수 있다. 결국 식 (14)에서 충족률(P_2)을 만족하는 ESPRC와 식 (15)에서의 ESPRC를 같게 하는 재주문점(s)을 결정하는 것이다. Tyworth의 접근법의 전체적인 흐름은 <그림 3>과 같다.



자료: Tyworth, J. E.(1992)

<그림 3> Tyworth 접근법의 흐름도

Tyworth 접근법의 가장 큰 이점은 모형을 어렵게 하는 결합분포의 필요성을 제거한 것이다. 그리고 경험적인 확률을 사용하는 어떤 형태의 이산 리드타임 분포도 가정할 수 있기 때문에 모델링에 있어서 높은 유연성을 제공한다. 또한 Tyworth 접근법은 전통적인 접근법에서 발생하는 오차를 줄여서 재고고갈 비용 또는 재고유지 비용을 감소시킬 수 있으며, 충족률(fill rate), 단위화물 크기(shipment size), 재고 수준과 재고량, 수송요일 또는 구매 할인 사이에 동적인 트레이드 오프 분석을 용이하게 한다.

그러나 Tyworth 접근법은 일일 수요분포를 선택하는데 있어서 한계를 안고 있다. Tyworth 접근법의 가장 중요한 조건은 기간 수요 예측 오차(또는 기간 수요)들이 연속적인 정규분포 또는 이산적인 포아송분포를 따른다는 것이다. 이는 빠르게 수송되는 제품에 대해서는 정규분포를 사용하고 느리게 수송되는 제품에 대해서는 포아송분포를 사용한다는 것이다. 여기서 포아송분포는 단지 한 개의 모수만을 가지기 때문에 가정할 수 있는 분포 형태의 범위가 매우 제한적이다. 또한 평균 수요가 적을 때 포아송분포는 우측으로 크게 왜도되고, 평균 수요가 증가함에 따라 대칭적(symmetric)이게 된다.

이러한 한계는 빠르게 수송되는 제품에 대해 쉽게 적용될 수 있을 뿐만 아니라 느리게 수송되는 제품의 모형에 대해서도 이상적인 감마분포를 사용할 것을 제안한 Keaton(1995)에 의해 부분적으로 극복되었다. Tyworth 접근법에서 리드타임의 어떤 이산분포도 자유롭게 연결시키는 감마분포는 일일 수요를 나타내는 어떤 형태의 분포도 가정할 수 있는 높은 유연성을 가지며(단 형태가 유니모달(unimodal)이어야 한다), 감마분포의 모수도 쉽게 계산된다는 장점이 있다. 또한 이것은 재고 관리자가 확률적 조건의 넓은 범위 하에서 정확한 재주문점을 측

정할 수 있게 한다.

동시에 Keaton은 감마분포 수요와 확률적 리드타임 조건하에서 부족량비용 기준이나 충족률 서비스 목표를 만족하는 재주문점(s)을 구하는 해법을 제시하였다. 그러나 이것은 미리 지정된 Q값에 대하여 재주문점을 찾는 것이며, 일반적으로 요구되는 것이 지정된 서비스 또는 재고부족량 비용 기준에 대하여 총비용을 최소로 하는 Q와 s를 구하는 것임을 고려할 때 한계가 있다. 최근 Tyworth(1996)는 이러한 점을 감안하여 정해진 서비스 수준과 재고 부족량비용 조건에서 s와 Q를 구하는 새로운 방법을 제시하였다.

4. 각 접근법의 평가

앞 절에서 설명한 각 방법의 실용성이나 적합성은 두 가지 측면에서 평가할 수 있다. 첫째, 각 접근법이 실제 리드타임을 얼마나 현실적으로 다루는가 하는 점이다. 일반적으로 문헌에서는 리드타임을 정규분포, 피어슨분포, 감마분포 등을 따르는 것으로 가정하고 있으며, 최근 Keaton(1995)은 이 세가지 분포의 적합성에 관하여 연구한 결과 감마분포가 실제 리드타임 분포를 가장 잘 나타낸다는 사실을 입증하였다. 이러한 관점에서 볼 때 앞절에서 설명한 세가지 접근법 가운데 리드타임을 감마분포로 처리한 Tyworth(1996)의 접근법이 가장 타당하다고 할 수 있다.

둘째, 추정한 안전재고량의 정확성에 따라 각 방법의 적합성을 평가할 수 있다. 안전재고는 리드타임 동안의 수요 표준편차에 의해 좌우되고(식 1), 안전재고수준은 ETAC를 이루는 한 요소로서 총물류비에 영향을 미치기 때문에(식 2) 리드타임 동안의 수요를 추정하는데 있어서 정확도는 안전재고를 기준으로하여 평가하는 것이 타당하다.

〈표 1〉 전통적인 방법과 Tyworth 방법의 정확도 비교

주문량	Tyworth방법		전통적인 방법		오차	
	재주문점	안전재고량	재주문점	안전재고량	안전재고량	%
306	504	198	417	111	87	43.9
356	479	173	409	103	70	40.5
406	458	152	402	96	56	36.8
456	438	132	396	90	42	31.8
506	421	115	390	84	31	27.0
556	407	101	385	79	22	21.8

자료 : Tyworth, J. E.(1992)

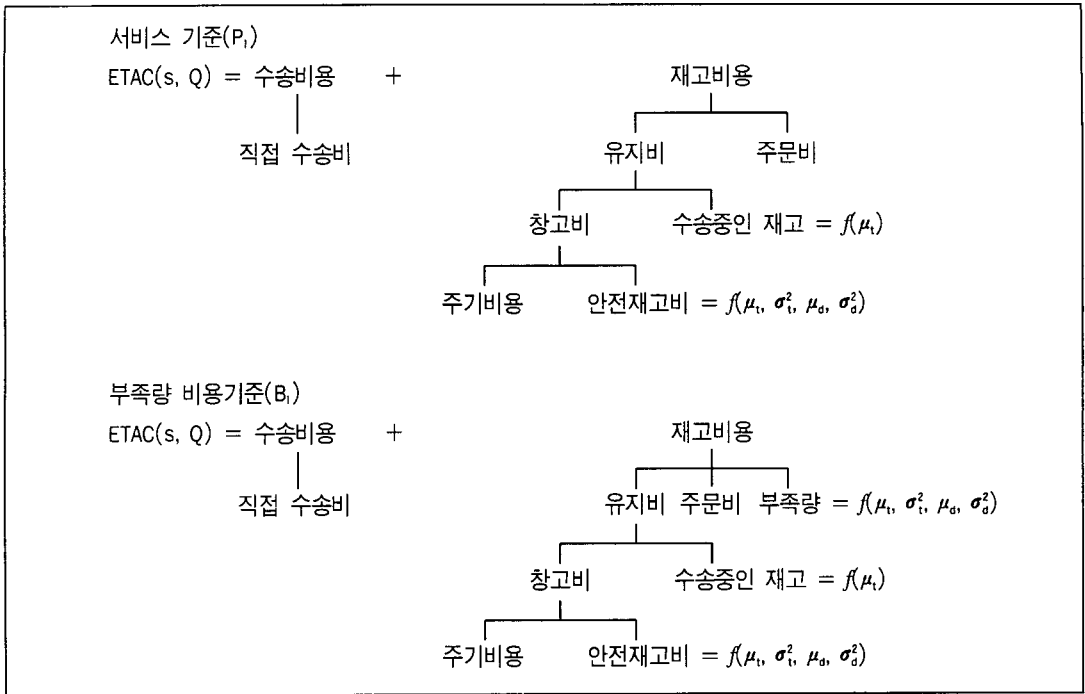
〈표 1〉은 전통적인 방법과 Tyworth 방법을 통하여 추정한 안전재고 수준의 차이를 비교하고 있다. 여기서 전통적인 접근법보다 리드타임 동안의 수요 분포를 보다 현실성 있게 반영하는 Tyworth 방법을 정확한 방법으로 가정하고 두 가지 방법의 결과를 비교하고 있다. 주어진 주문량의 범위 내에서 정규분포를 사용한 전통적인 방법은 Tyworth 방법에 비하여 재주문점(s)과 안전재고 수준을 낮게 추정하는 것으로 나타났다. 즉, 전통적인 방법은 안전재고 수준을 43.9%~21.8%의 범위로 낮게 추정하였다. 이와 같이 안전재고량을 낮게 추정하면 재고가 고갈될 확률이 높아지고 재고고갈 비용이 증가하는 결과를 가져오게 된다.

Tyworth 방법과 ffm 방법을 실증적으로 비교 연구한 결과는 발표되지 않았으나 후자가 사용하는 Pearson족 분포가 실제 리드타임 분포를 제대로 반영하지 못하는 것으로 문헌에서 입증되고 있기 때문에 후자가 전자에 비해서 실용성이 떨어지는 것으로 추론할 수 있다. 이러한 결과를 종합할 때 현실을 가장 잘 반영하는 감마분포를 사용한 Tyworth 방법이 가장 실용성이 높다고 할 수 있다.

IV. 안전재고 문제에 대한 접근법 (안전재고 결정 기준)

재고이론 모형은 정해진 서비스 수준이나 재고 부족량비용하에서 총비용을 최소화하는 재주문점과 주문량을 구하는데 초점이 맞추어져서, 서비스 수준이나 재고 부족량 비용은 안전재고량을 기준으로 하여 결정된다. 따라서 재고이론 모형에 있어서 안전재고량을 결정하는 것이 주요 문제 중 하나이다. 안전재고량을 결정하는데 사용되는 기준은 서비스기준과 재고 부족량 비용 기준이다. 〈그림 4〉는 서비스 정책 또는 부족량 비용 정책에 따른 기대 총연간비용(ETAC)의 일반적인 형태를 나타낸다. 서비스 기준은 P_1 과 P_2 기준으로 구분되고 부족량 비용 기준은 B_1 , B_2 그리고 B_3 기준으로 구분된다.

전통적 접근법에 있어서 대표적인 서비스 기준은 주문 주기당 재고고갈이 없을 확률인 P_1 이다. P_1 서비스 기준의 ETAC는 수송 비용, 재고 유지비용 그리고 주문비용으로 구성되며, 재고 유지 비용은 수송중인 재고, 안전재고, 그리고 주기재고로 구성된다. 수송중인 재고와 안전재고 유지비용을 계산하는 수식은 수송 시간의



자료: Tyworth, J. E.(1991)

〈그림 4〉 기대 총연간비용의 일반적인 형태

평균(속도)과 분산(신뢰도)을 포함하기 때문에 모형을 통해서 재고비용에 대한 수송 시간의 영향을 파악할 수 있다. P₁ 서비스 기준을 이용한 연구로는 전통적인 접근법을 따른 Das(1974), 확률적 리드타임과 수요 접근법을 사용한 Langley(1981), Horowitz와 Daganzo(1986), Perl과 Sirisoponilp(1989) 등이 있다.

P₁ 서비스 기준은 확률적인 (s,T,Q) 모형에서 다음과 같은 한계를 내포한다. 첫째, 재주문점 (s)은 주문량(Q)에 의해 독립적으로 정해지기 때문에 P₁ 모형은 대량화물물 대하여 낮은 요율이 적용되는 운임 구조, 주문 크기 그리고 안전 재고 수준 사이의 관계들을 직접적으로 평가하지 못한다. 둘째, 실제 P₁은 일정하지 않고 Q가 증가함에 따라 최초의 서비스 목표와 달라질

수 있다. 즉, 주문량이 증가하면 연간 주기와 재고고갈 기회는 줄어들게 된다. 따라서 서비스 기준과 관련된 수익(income) 효과는 평가되는 수송 수단(T)들간에 동일하지 않다. 셋째, P₁ 서비스 기준은 재고고갈이 발생하는 것을 반영하지만 기대 단위 부족량은 구할 수 없다.

P₂ 서비스 기준은 미납주문(back ordered)이 없는 연간 판매 비율(fraction)로서 충족률(fill-rate)을 의미한다. P₂ 기준을 이용한 연구로는 확률적 리드타임과 수요 접근법을 사용한 Stenger et al(1977), Tyworth(1992, 1996) 등이 있다. P₂ 서비스 기준은 P₁ 기준이나 부족량 비용 기준과 비교할 때 몇 가지 장점이 있다. 첫째, 이것은 평가하는 각 수송 수단에 대하여 동일한 연간 기대 주문 충족 수준에 도달하는

안전재고 수준을 계산할 수 있게 한다. 따라서 평가되는 수단들을 일관성 있게 비교하는 것이 가능하며, 최적의 수송수단을 선택할 수 있다. 둘째, P_2 기준은 P_1 보다 더 정확한 결과를 도출한다. Tyworth는 P_1 기준을 사용할 때 여러 가지 분포(정규, 베타, 감마, 와이블)에 대한 오차 크기가 -38.5% ~ 54.3%의 범위에 달하는 것을 밝혔다. 또한 고객 서비스에 관한 최근 연구에 의하면 기업들은 서비스를 측정하는 방법으로서 주문-충족(order-fill)을 선호한다는 사실이 밝혀졌다(LaLonde et al., 1988).

부족량 비용 기준에 있어서 대표적인 것은 재고고갈 발생당 고정비용(fixed cost per stock-out occasion)인 B_1 기준이다. <그림 4>에서와 같이 B_1 기준은 ETAC에 기대 부족량 비용 항목을 포함한다. 이 기준은 안전재고 유지비용과 재고고갈로 인한 비용(부족량 비용)간의 트레이드 오프로 재주문점을 계산하고, 재주문점에 의하여 서비스 수준을 결정한다. B_1 기준을 이용한 연구로는 확률적 리드타임과 수요 접근법을 사용한 Blumenfeld et al.(1985), Allen et al.(1985) 등이 있다.

B_2 기준은 사전에 결정된 단위 부족당 비용(specified fractional charge per unit short)을 뜻한다. B_2 기준을 이용한 연구로는 확률적 리드타임과 수요 접근법을 사용한 Constable과 Whybark(1978), Tyworth (1996) 등이 있으며, 확정적 리드타임 또는 수요 접근법을 사용한 연구로는 Buffa와 Reynolds (1977)가 있다. B_2 기준은 안전재고의 기대 부족량 비용과 기대 유지 비용간의 트레이드 오프를 평가하는 장점이 있지만 다른 기준이 가지지 않는 두 가지 한계를 가지고 있다. 첫째, 판매 손실(lost sales)의 영향을 포함하는 정확한 B_2 값을 측정하는 것은 어렵다(Oral, Salvador, Reisman and Dean, 1972). 둘째, 기대 부족량은 수송 대안에 따라

변하기 때문에 부족량이 미래의 판매에 영향을 미칠 때 B_2 기준은 P_2 기준보다 잘못된 수송수단을 선택할 수 있다. 따라서 기대 부족량과 미래 판매 손실(lost future sales)간의 정확한 함수적 관계를 도출하지 못하면 B_2 기준은 잘못된 결과를 도출한다.

B_3 수준은 사전에 정해진 단위 시간당 단위 부족당 비용(specified fractional charge per unit short per unit time)을 뜻한다. 이러한 B_3 기준을 이용한 연구로는 확정적 리드타임과 수요 접근법을 사용한 Liberatore(1979)가 있다.

이상에서와 같이 5가지로 구분되는 안전재고 결정 기준 가운데서 리드타임 또는 수요를 확정적인 것으로 다루는 접근법을 채택한 대부분의 연구들은 부족량 비용 기준을 사용하였으며, 전통적인 접근법은 대부분 P_1 기준을 사용하였다. 그러나 최근의 연구에서는 평가되는 각 수송 수단에 대하여 동일한 연간 기대주문 충족 수준에 도달할 수 있는 안전재고 수준을 계산할 수 있으며, 수단들 사이에서 일관성 있는 비교가 가능한 P_2 기준을 사용하고 있다. 또한 기업들 역시 서비스 측정 단위로서 P_2 를 선호한다. 따라서 재고이론을 통한 수송 수단 선택 모형에 있어서 안전재고량을 결정하는 기준으로서는 실용적인 측면과 계산적인 측면에서 P_2 기준이 적합하다고 할 수 있다.

V. 결론 및 추후 연구 방향

1. 문헌 조사 결과

재고이론에 근거하여 재고와 수송의 상관관계를 분석하는데 있어서 주 관심사 가운데 하나는 불확실한 특성을 지닌 리드타임 동안의 수요와 안전재고 문제이며, 이러한 확률적인 요

소를 다루는 여러 방법들이 시도되었다.

전통적인 접근법(결합 방법)은 리드타임 수요에 알맞은 형태의 결합분포를 도출하는 것이 어렵다는 한계를 안고 있다. 이와 같은 이유로 인하여 리드타임 수요 L 이 정규분포를 따른다고 가정하는데 이에 대한 타당성이 부족하며, 실제 정규분포를 사용하면 부정확한 재주문점이 산출되어 재고비용이나 재고고갈비용을 증가시킨다는 것이 밝혀졌다.

이러한 한계를 개선하기 위해 Kottas와 Lau가 제안한 first-four-moments 접근은 정규분포 대신 4개의 모수를 가지는 Pearson족 곡선 분포를 사용하고 추가적인 모수를 계산하는 방법을 제시하였다. Pearson 곡선이 모수가 1개(포아슨) 혹은 2개(정규분포)인 통계 분포에 비하여 비정규 형태를 띠는 수요에 일반적으로 더 민감한 모형을 제공하지만 이것이 반드시 올바른 해를 도출하는 것은 아니며, 더 나아가 실용성은 불분명하다는 것이 밝혀졌다.

L 에 대한 결합분포를 사용하는 대신 기간 수요 분포의 convex combination을 사용한 Tyworth의 접근법은 확률적 수요와 리드타임 상황에서의 재고통제 모형 개발에 큰 기여를 하였다. 그는 기간 수요가 정규분포 또는 포아송분포를 따른다는 조건하에서 모형을 개발하였고, 최근 빠르게 수송되는 제품과 느리게 수송되는 제품에 모두 적합하고 좀더 유연성이 높은 감마분포를 적용하고, 보다 쉽게 재주문점과 주문량을 구하는 방법을 제시하였다.

안전재고를 결정하는 기준은 크게 서비스 수준(P_1, P_2)과 부족량 비용 기준(B_1, B_2, B_3)으로 구분되며, 특히 P_2 기준은 평가되는 각 수송수단에 대하여 동일한 연간 기대 주문 충족 수준에 도달할 수 있는 안전재고 수준을 계산할 수 있는 장점이 있다. 또한 전통적인 P_1 또는 B_2 기준보다 더 나은 결과(재주문점, 안전재고

량 등)를 도출하며, 실제로 많은 기업들이 P_2 , 주문-충족(order-fill), 서비스 측정을 선호한다고 알려졌다.

기존 문헌을 중심으로 분석한 이러한 결과를 통하여 이 분야의 연구 현황을 파악할 수 있으며, 재고이론에 따른 재고와 수송의 관계에 대한 연구는 이론적인 측면에서 상당한 발전을 이루었다는 사실을 알 수 있다. 리드타임 수요를 다루는 방법은 계산의 용이성, 가정의 완화, 현실 반영도 등을 고려할 때 Tyworth의 새로운 접근법이 타 방법에 비하여 상대적으로 우수한 것으로 나타났다. 안전재고 결정기준은 수송수단을 일관성 있게 비교할 수 있는 P_2 기준이 상대적으로 타당성이 높은 것으로 나타났다. 그러나 이러한 방법 역시 복잡한 물류 현실을 어느 정도 단순화 하였으며, 그 타당성은 특정 상황이나 관점에 기준한 것이기 때문에 추후 현실을 보다 잘 반영하고 일반적인 타당성을 확보하는 방향으로 확장할 필요성이 있다(추후 연구방향에 대한 제언 참조).

2. 추후 연구방향에 대한 제언

전술한 것처럼 재고와 수송의 상관관계를 분석하는데 있어서 핵심은 확률적인 수요와 리드타임을 어떻게 처리하는 가에 있다. 문헌들은 각기 분석 상황에 있어서 수요와 리드타임을 가장 잘 반영하는 분포함수를 이용하였다. 즉, 정규분포, 포아송분포, 감마분포 등을 따르는 것으로 가정하고 있다. 이러한 확률적인 요소들은 제품의 특성, 수송특성, 화주의 특성 등에 따라 다르기 때문에 실제 분포에 대한 분석 없이 특정 분포를 가정하는 것은 현실성이 결여되는 결과를 가져올 수 있다. 따라서 실증적 분석을 통하여 실제 수요와 리드타임의 분포 특성을 파악하여 이를 반영하는 노력이 필요하다. 즉,

특정 제품과 시장을 대상으로 실제 수요의 분포를 분석하여 현실에 가까운 분포를 도출할 때 보다 현실적인 물류비용 함수를 추정하는 것이 가능할 것이다.

또한 보다 현실적인 결과를 얻기 위해서는 총물류비용식을 확장할 필요가 있다. 재고이론을 따른 대부분의 연구들은 화주의 재고의사 결정에 초점을 맞추고 비용을 최소화 하는 재주문점과 주문량을 결정하는 것이다. 따라서 수송수단 관련 비용 항목들은 상대적으로 소홀히 다루어졌다. 물류비용 분석에 근거하여 수송시간, 수송시간의 신뢰성 등이 물류비용에 미치는 영향을 분석하는데 초점을 맞추는 경우에는 수송비용, 수송중인 재고비용 등과 같이 직접 수송과 관련된 비용항목을 포함시킬 필요가 있다. 수송비용은 일정한 것으로 가정하는 경우가 일반적이데 수송 단위의 크기에 따라 수송요율 할인이 적용되는 경우에는 이러한 점을 역시 고려할 필요가 있다. 또한 총비용 식에 구매비용을 포함시키고, 현실적인 수량할인 구조를 수용할 수 있도록 가격이 일정하다는 가정을 완화시킬 필요가 있다.

리드타임 측정에 있어서도 확장의 여지가 있다. 제품 발주에서 입고까지 소요되는 시간인 리드타임은 제품의 배송시간으로 대신되는 경우가 일반적이다. 그러나 리드타임은 배송시간 외에 주문처리 시간과 공급자의 재고가 고갈된 경우에는 백오더(back order)나 제품 생산에 소요되는 시간이 포함된다. 따라서 리드타임을 측정할 때 이러한 시간들을 포함시키는 방안을 모색할 필요가 있다. 이것은 리드타임을 몇 개의 독립 확률 변수로 나누기 때문에 모형을 더 복잡하게 하며, 계산상의 어려움을 가중시키기 때문에 방법론적인 측면이 동시에 고려되어야 한다.

방법론적인 측면으로서 시뮬레이션 기법을

접목하는 방안을 모색하는 것을 들 수 있겠다. 최적화 접근법은 복잡한 현실을 제대로 반영하지 못하는 한계를 안고 있으며, 이는 시뮬레이션 방법을 통하여 부분적으로 해결될 수 있을 것이다. 최적화 모형을 기본 틀로 하고 현실적용에 있어서 확률적인 문제를 해결하는 데 시뮬레이션 기법을 적용하면 현실적인 결과를 얻을 수 있을 것이다.

다음으로 기존의 화물수요모형과의 접목을 생각할 수 있다. 4단계추정법으로 통하는 집단모형과의 직접 접목은 이론과 필요한 자료의 차이 등으로 인하여 불가능하며, 효용함수에 근거하여 화주들의 수단선택 행태를 분석하는 개별행태모형과의 접목은 고려할 수 있다. 일부 연구들이 재고이론에 근거하여 화주들의 수단선택, 발송화물 크기, 발송지 선택 등을 결합적으로 분석하는 결합선택모형(joint choice models)을 시도하였다(P.O. Roberts, 1977; Chiang et al., 1981; McFadden et al., 1985). 이러한 연구는 재고모형에 의한 물류비용함수와 이산선택 확률 모형을 결합한 것이라고 할 수 있다. 재고와 수송의 관계 분석들을 이용하여 보다 현실적인 물류비용함수를 도출할 수 있으며, 이것을 기존의 개별행태모형에 접목할 때 보다 수송과 관련된 화주들의 세부적인 행태를 분석하는 것이 가능할 것이다.

본 연구는 이론적인 고찰에 초점을 맞추고 있으나 실제 적용을 위한 연구방향을 제시하는 것이 이론적인 발전의 기여 못지 않게 중요할 것이다. 재고와 수송의 상관관계를 중심으로 하는 물류비용 분석 틀은 수송시간의 단축이나 수송시간의 신뢰도를 높이는 것이 화주의 물류비용에 어떤 영향을 미치는 가를 평가하는 것이기 때문에 수송업체와 화주에게 유용하게 활용될 수 있다.

수송업체 측면에서는 특정 화주에 대한 물류

비용을 분석함으로써 서비스 개선에 대한 화주의 반응을 파악할 수 있다. 이는 적정 운임 수준을 결정하거나 상이한 화주들에 대하여 서로 다른 서비스 수준을 제공하는 전략을 수립하는데 활용될 수 있다. 화주 측면에서는 물류비용을 분석하여 총비용이 최소가 되는 수송수단이나 수송업체를 선정함으로써 효율적인 물류관리를 할 수 있다.

매출액대비 기업물류비는 한국 14.3%, 일본 8.84%, 미국 7.72%로서 우리나라 기업은 선진국의 기업에 비하여 상대적으로 높은 물류비용을 지출하고 있다(교통개발연구원, 1995). 이것은 물류부문이 낙후되어 있고 체계적이고 과학적으로 물류문제를 해결하지 못하고 있다는 것을 의미한다. 따라서 전술한 방법들을 실제 우리나라 기업의 재고관리와 수송문제에 적용하는 연구가 많이 이루어져야 한다. 이는 기업의 물류문제 해결뿐만 아니라 외국 문헌을 통한 이론적인 고찰의 결론이 우리나라 기업의 물류관리 행태와 일관성이 있는지에 대한 계량적인 검토를 위해서도 필요하다. 재고와 수송의 관계를 다룬 국내 연구는 미흡하기 때문에 국내 기업들을 대상으로한 실증적인 분석의 필요성이 강조된다.

실증 연구의 활성화를 위해서는 분석에 필요한 자료를 구하는 문제를 우선 고려해야 한다. 일반적으로 화물수요 연구에 있어서 가장 큰 어려움 가운데 하나는 필요한 자료를 수집하는 것이다. 특히, 본 연구에서 고찰한 접근법과 같이 미시적인 화물수송수요 연구에 있어서 요구되는 자료는 개별 화주들을 통하여 구해야 하는 일차 자료이기 때문에 자료 구입의 어려움이 연구의 큰 걸림돌이 될 수 있다. 실제 적용을 위해서 필요한 자료는 크게 수송, 제품, 그리고 화주 관련 자료이다. 이들 가운데 운임 등과 같이 확정적인 성격의 자료는 쉽게 구할 수 있

으나 수송시간 및 신뢰도, 수요 등과 같이 확률적인 성격을 띤 자료는 구하기가 어렵다. 학술적으로도 이러한 자료에 대한 실증연구가 필요하며, 기업 측면에서도 자료를 체계적으로 집계할 수 있는 방안을 강구해야 할 것이다. 물류부문의 전산화가 보편화되는 시점에서 실제 물류 계획 및 관리에 필요한 형태로 자료를 집계할 수 있는 방안을 모색할 수 있을 것이다. 정부 입장에서도 물류 관련 데이터 베이스를 구축하는 것이 이 분야의 학문적인 발전과 기업의 발전을 위해서 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) 권오경(1995), 수송시간과 신뢰성이 화주의 물류의사결정에 미치는 영향, 교통개발연구, 2권, 1호, pp. 35-51.
- 2) 교통개발연구원(1995), "우리나라 물류비의 결정요인과 추이" 연구총서 95-10, pp. 18-19.
- 3) 남기찬(1993), "화물수송수단 선택모형의 이론 및 적용측면에서의 고찰", 대한교통학회지, 11권, 1호, pp. 37-54.
- 4) 문상원(1996), "수송수단의 선택을 위한 리드타임 분석", 경영과학, 제13권, 제1호, pp. 47-55.
- 5) Allen, W. B., Mahmoud, M. M. and Mcneil, D.(1985), "The Importance of Time in Transit and Reliability of Transit Time for Shippers, Receivers, and Carriers", Transportation Res., Vol. 19B, No. 5, pp. 447-456.
- 6) Archibald, B. and Silver, E. A.(1974), "Implementation Consideration in Selecting the Probability Distribution of Lead Time Demand", Working Paper No. 89, Department of Management Sciences, University of Waterloo,

- Waterloo, Ontario, Canada.
- 7) Bagchi, U., Hayya, J. C. and Chu, C.(1986), "The Effect of Lead-Time Variability: The Case of Independent Demand", *Journal of Operation Management*, Vol. 6, No. 2, pp. 159-177.
 - 8) Bagchi, U., Hayya, J. C., and Ord, J. K.(1984), "Concept, Theory, and Techniques: Modeling Demand During Lead Time", *Decision Science*, Vol. 15, pp. 157-176.
 - 9) Ballou, R. H.(1992), *Business Logistics Management*, Prentice-Hall, Inc.
 - 10) Banks, J. and Fabrycky, W. J.(1985), *Procurement and Inventory Systems Analysis*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall.
 - 11) 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.
 - 12) Baumol, W. J. and Vinod, H. D.(1970), "An Inventory Theoretic Model of Freight Transport Demand", *Management Science*, Vol. 16, No. 7, pp. 413-421.
 - 13) Blumenfeld, D. E., Burns, L. D., and David Diltz, J.(1985), "Analyzing Trade-offs Between Inventory and Production Cost on Freight Networks", *Transportation Research*, Vol. 19B, No. 5, pp. 361-380.
 - 14) Buffa, F. P. and Reynold, J. I.(1977), "The Inventory-Transport Model with Sensitivity Analysis by Indifference Curves". *Transportation Journal*, Vol. 16, No. 2, pp. 83-90.
 - 15) Burgin, T. A.(1975), "The Gamma Distribution and Inventory Control", *Operational Research Quarterly*, Vol. 26, No. 3, pp. 507-525.
 - 16) Chang, Y.S., Roberts, P.O. and Ben-Akiva, A.M.(1981), "Short-run Freight Demand Model: Joint Choice of Mode and Shipment Size", *Transportation Research Record* 828, pp.9-11.
 - 17) Constable, G. K.(1971), "Formulation and Solution of the Inventory-Transportation Selection Problem", Unpublished Ph. D. dissertation, Purdue University, West Lafayette, Ind.
 - 18) Constable, G. K. and Whybark, D. C.(1978), "The Interaction of Transportation and Inventory Decision", *Decision Sciences*, Vol. 9, pp. 688-699.
 - 19) Cunningham, W. J.(1982), "Freight Modal Choice and Competition in Transportation: A Critique and Categorization of Analysis Techniques", *Transportation Journal*, Vol. 21, No. 4, pp. 66-75.
 - 20) Das, C.(1974), "Choice of Transport Service : An Inventory Theoretic Approach", *The Logistics and Transportation Review*, Vol. 10, No. 2, pp. 181-187.
 - 21) 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.
 - 22) Fetter, R. B. and Dalleck, W. C.(1961), *Decision Models for Inventory Management*. Homewood, Ill.: Richard D. Irwin, Inc.
 - 23) Horowitz, A. D. and Daganzo, C. F.(1986), "A Graphical Method for Optimizing a

- Continuous Review Inventory System", *Production and Inventory Management*, 4th Quarter, pp. 30-45.
- 24) 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.
- 25) Kottas, J. F. and Lau, H.(1979), "A Realistic Approach for Modeling Stochastic Lead Time Distribution", *AIEE Transactions*, Vol. 11, No. 1, pp. 54-60.
- 26) 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.
- 27) LaLonde, B. J., Cooper, M. C., and Noordeweir, T. G.(1988), "Customer Service: A Management Perspective", *Oak Brook, I 11. : The Council of Logistics Management*, pp. 41, Appendix A.
- 28) Langley, C. J.(1981), "The Inclusion of Transportation Costs in Inventory Models : Some Consideration", *Journal of Business Logistics*, Vol. 2, No. 1, pp. 106-125.
- 29) Larson, P. D.(1988), "The Economic Transportation Quantity", *Transportation Journal*, Vol. 28, No. 2, pp. 43-48.
- 30) Lau, H. and Zaki, A.(1982), "The Sensitivity of Inventory Decision to the Shape of Lead Time Demand Distribution", *IEE Transaction*, Vol. 14, No. 4, pp. 265-271.
- 31) Lee, T. S., Malstron, E. M., Vardeman, S. B. and V. P. Petersen.(1989), "On the Refinement of the Variable Lead Time/Constant Demand Lot-Sizing Model : The Effect of True Average Inventory Level on the Traditional Solution", *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 5, pp. 883-899.
- 32) Liberatore, M. J.(1979), "A Model of Freight Transport Selection", *Transportation Journal*, Vol. 18, No. 4, pp. 92-100.
- 33) McGinnis, M. A.(1989), "A Comparative Evaluation of Freight Transportation Choice Models", *Transportation Journal*, Vol. 29, No. 2, pp. 36-46.
- 34) 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.
- 35) Oral, M., Salvador, M. S., Reisman, A. and Dean, B. V.(1985), "On the Evaluation of Shortage Costs for Inventory Control of Finished Goods", *Management Science*, Vol. 6, No. 1, pp. 344-351.
- 36) Perl, J. and Sirisoponsilp, S.(1988), "Distribution Network: Facility Location, Transportation and Inventory", *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, Vol. 18, No. 6, pp. 18-26.
- 37) Roberts, P.O.(1977), "Forecasting Freight Demand" in *Transport Decisions in an Age of Uncertainty*, *Proceedings of the 3rd World Conference on Transport Research*, pp. 247-264.
- 38) Sheffi, Y., Eskandari, B. and Koutspoulos, H. N.(1988), "Transportation Mode Choice Based on Total Logistics Costs", *Journal of Business Logistic*, Vol. 9, No. 2, pp. 137-154.

- 39) Speh, T. W. and Wagenheim, G. D.(1978), "Demand and Lead-Time Uncertainty: The Impact on Physical Distribution Performance and Management", *Journal of Business Logistics*, Vol. 1, No. 1, pp. 95-113.
- 40) Stenger, A. J., Coyle, J. J. and Prince, M. S.(1977), "Incorporating Transportation Costs and Services Into the Inventory Replenishment Decision", In *Applied Distribution Research*, House, R. G. and Robeson, J. F., Columbus, Ohio: The Ohio State University, pp. 22-26.
- 41) Tersine, R.(1994), *Principles of Inventory and Materials Management*, PTR Prentice-Hall, Inc.
- 42) Tyworth, J. E.(1991), "The Inventory Theoretic Approach in Transportation Selection Model: A Critical Review", *Logistics and Transportation Review*, Vol. 27, No. 4, pp. 299-318.
- 43) Tyworth, J. E.(1992), "Modeling Transportation-Inventory Trade-offs in a Stochastic Setting", *Journal of Business Logistics*, Vol. 13, No. 2, pp. 97-124.
- 44) 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.
- 45) Tyworth, J. E., Kant Rao, and Stenger, A. J.(1991), "A Logistics Cost Model for Purchasing Transportation to Replenish High Demand Items", *Journal of the Transportation Research Forum*, Vol. 32, No. 1, pp. 146-157.
- 46) Tyworth, J. E., Lemons, P. and Ferrin, B.(1989), "Improving LTL Delivery Service Quality with Statistical Process Control", *Transportation Journal*, Vol. 28, No. 3, pp. 4-12.