물류센터의 경제성 평가를 위한 수리모델 및 고려요소에 관한 제언
- The Value of a Warehouse : Whether to have a warehouse or not -

김 종 대*
Kim, Jong-Dae
강 경 식**
Kang, Kyeong-Sik

Abstract

Many studies show that the value of the warehouse is good. However, studies explicitly mention the tradeoff between costs of operating the warehouse and benefits from the warehouse. Also, it is important to know when the benefits overcome the costs. We study a one-warehouse/N-retailer(s,Q) distribution system with stochastic lead times in order to answer two questions: *"What are the optimal policies of the system that minimizes total system costs?"* and given the optimal policies, *"Is the value of the warehouse always good?"* We use an analytical model for answering the questions. We find that the optimal policies are different from those with deterministic lead times. In fact, it is reverse. We alse find the existence of the breakeven point, beyond which the benefits starts overcomming the costs. And, we show that one of the breakeven points is the mean ratio of a supplier's lead time to transportation lead time between the warehouse and the retailer. Finally, we show that the breakeven point is sensitive to the ratio of holding costs of the warehouse and the retailer and it is also sensitive to the unit backorder costs at the retailer.

I. 서론

Eppen and Schrage (1981)는 공장과 물류거점간의 Leadtime이 길어질수록 중간에 추가 물류거점을 갖는 것이 경제적으로 이익이라고 제언하였다. 특히, 유통 체널이 중간거점을 운영하고 고객의 수요가 확증적일 경우에는, 물량할인 (Quantity Discount)에 의존하여 전체의 비용을 감소시킬수 있다고 주장하였다. 상기 논문에 관련하여, 본 연구에서는 아래 두가지의 질문에 중점을 두었다. 첫째, Quantity Discount는 고객의 수요 및 Leadtime이 확율적인 경우에도 항상 성립하는가? 둘째, 중간 물류거점의 운용이 항상 경제적인가?

물량할인의 기본 논리는 발주 물량이 커짐에 따라 유통체널의 효율성이 증대되고 이로 인하여 판매자의 종합 비용이 감소된다는 주장에서 비롯된다. 그러나 상기의 논리는 불확실성에 대비한 안전재고의 운영으로 고객의 수요 및 Leadtime이 확율적일 경우에는 성립하지 않는다. 더욱, 분할선적이 허용되지 않는 환경에서는 중간물류거점에서 안전재고를 주문물량의 배수로 유지하여야 하기 때문에 주문물량의 증가는 안전재고비용의 증가로 귀착된다. 따라서, 물량할인을 위한 주문물량의 증대는 궁극적으로 전체 유통체널의 비효율성을 증대시켜 전체 물류비용을 상승시킨다.

* 삼성데이타시스템
** 명지대학교 산업공학과

둘째로 추가 물류거점의 운영으로 인한 효과가 항상 물류거점의 운영을 위한 재고의 발주 및 유지 비용보다 상회하는가 하는 문제이다. 본 연구에서는 상술한 바 물류거점의 운영으로 인한 효과가 그에 따르는 운영비용을 상회하는 Break-even점이 항상 존재한다는 것을 밝혔고, 둘째, Break-even 점이 아래의 두가지 지표에 비례한다는 것을 보여주었다.

· 공급자 (공장) -물류거점간의 Leadtime 과 물류거점-Retailer간의 Leadtime 비율 ·
· 물류거점내 재고유지비용 대 유실비용의 비율 과 Retailer내 재고유지비용 대 유실비용의 비율 과의 관계

System I : Direct Order

Factory <——————> $L_w + L_r$ <——————> *Retailer*

System II : Through Warehouse

Factory <——————> *Warehouse* <——————> *Retailer*

L_w L_r

Figure 1 System I vs. System II

상술한 의문점들의 답을 제안하기위하여, 본연구는 위와같이 두가지의 유통시스템을 가정하였다. Figure 1 에서 보는바와 같이, System I은 중간유통센터 없이 공장과 대리점간에 직접적으로 물류이동 및 배분이 되는 유통시스템이다. 이에반해, System II는 공장과 대리점간에 중간유통센터를 운영하여 공장-유통센터-대리점의 순서로 물류를 이동/배분하는 유통시스템이다. 두가지의 유통시스템 공히 두 종류의 Leadtime을 갖고 있다. Lw는 공장에서의 생산Leadtime이고; Lr은 유통센터와 대리점간의 수송 Leadtime이다. 본 연구에서는 Lw와 Lr공히 Exponential 분포를 따르는것으로 가정하였다. 요약하자면, System I에서의 평균 Leadtime은 $\lambda_w + \lambda_r$이다. 그러나 System II에서의 평균 Leadtime은 중간유통센터의 서비스율 (Fill-rate: Fw)에 의존하며 이는 아래와 같이 계산된다;

$$E[\text{SystemII 에서 대리점의 Leadtime}] = \lambda_r + (1-F_w)\lambda_w \qquad (1)$$

부연하자면, 유통센터의 서비스율은 안전재고의 함수이기때문에; System II에서의 Leadtime은 유통센터의 안전재고수준에 따라 변화한다.

System I 과 System II에 존재하는 의사결정변수는 아래와 같이 정리된다.

	재발주점, S (Reorder Point)		**발주량, Q (Order Quantity)**	
	물류센터	대리점	물류센터	대리점
System I	S_{wI}	S_{rI}	Q_{wI}	Q_{rI}
Systme II	S_{wII}	S_{rII}	Q_{wII}	Q_{rII}

첨언하자면, 상기 의사결정변수의 최적값은 각 비용간의 균형 및 물류센터와 대리점간 비용 균형에 따라 변화한다. 이러한 최적의 값을 도출하기위하여 총비용을 산출하기위하여 산출적인 기대치를 이용하였다.

본 연구는 다음과 같은 구성으로 되어있다. 이어지는 2절에서는 관련된 문헌의 결과 및 의미를 요약하였다. 기본적으로 2단계 유통체널에서의 경제성에 관한 제언이며 이들의 결점 및 보완점에관하여 요약하였다. 다음으로 3절에서는 종합 비용 모델에 관하여 설명하였다. 4절에서는 System I 및 II의 최적화 정책을 도출하고 이들의 차이점에관하여 설명하였다. 5절에서는 물류센터의 비용과 이에따른 효과간에 Breakeven 점을 도출하였고 이에 대한 Sensitivity 분석을 하였다. 마지막으로 6절은 요약 및 향후 문제를 제시하였다.

II. 문헌 고찰

본연구를 위한 문헌고찰은 성격상 크게 두부문으로 나뉘어 진다. 첫째, 최적화정책과 관련한 물량할인에 관한 부문이며; 둘째는 추가물류센터의 운영에 관한 경제성에 대한 결과들의 요약이다.

2.1 물량 할인 (Quantity Discount)

Buchman (1953), Foraker (1961), 와 Crowther (1964)는 물량할인 정책을 시행함으로서 물류센터에서 처리하는 기본 단위 물량이 증가함으로인하여 궁극적으로 전체 유통체널의 효율을 높힌다고 제언하였다. 이러한 연구의 맥락에서, Monahan (1984), Banerjee (1986), Lee and Rosenblatt (1986), 와 Dada and Srikanth (1987)는 물량 할인 정책으로 유도된 단위 주문물량의 증가가 궁극적으로 전체 유통체널의 효율을 향상시켜 물류센터 및 대리점에 공히 이익을 제공한다고 결론지었다. 특히, 이러한 결론을 유도하기위하여 Monahan and Banerjee 는 Let-for-lot 및 재발주점-고정량 발주 정책을 가정하였다. 상기의 연구에서는 본 연구에서도 사용되는 System I 및 II의 두가지 경우를 비교하였다. 이러한 상황에서 상기 연구는 한가지 가정을 하였다. 곧, System II 내 대리점의 최적 주문물량이 System I내의 대리점 최적 주문물량보다 항상 크다는 비현실적인 가정을 하였다.

상기의 가정은 고객의 수요 및 주문 Leadtime이 확정적이기 때문에 물류센터에서 안전재고를 보유할 필요가 없을 경우에는 성립이 되나 반대의 경우에는 성립이 불가하다. 다시말하면, Let-for-lot 발주정책을 전제할때, 수요 및 주문 Leadtime이 불확실할 (확률적일) 경우에는 물류센터에서 안전재고를 보유하여야 한다. 이러할 경우, 대리점의 단위주문물량이 증가할 경우 이로인하여 물류센터에서의 재고유지비용이 증가한다. 따라서, 이러한 경우 규모의 비경제성 (Diseconomies of Scale)의 현상이 발생한다. 따라서, 해당 물류센터는 보다적은 안전재고를 보유하려하고; 이로 인하여 발주 응답률 (Fill-rate)가 감소하여 대리점에서의 주문 Leadtime이 증가하여 전체유통체널의 효율을 감소시킨다. 다시말하면, Monahan and Banerjee의 결론은 수요 및 Leadtime이 확정적일 경우에만 성립됨을 증명하였다.

2.2 물류센터의 경제성

Eppen and Schrage (1981) 은 물류센터의 경제성을 'Risk-pooling-effect'라 명칭하였다. 곧 모든 불확실성을 한곳에 집중 상쇄효과를 이용하여 궁극적으로 위험을 분산한다고 설명하였으며 이를 다시 두가지의 분야로 나누었다. 첫째, 규모의 경제를 위한 공동 발주 및 둘째, 중간 Depot를 활용한 물량 유실의 방지 및 유통물류의 합리화를 들 수 있다. 추가설명을 위하여 10개의 대리점을 운영하는 유통체널을 가정하기로 한다. 예를 들어 10개의 대리점이 각각 독립적으로 발주를하는 경우, 대리점의 주문Leadtime으로 인한 불확실성이 각각 독립적으로 한 사이클내에서 10번 발생하게 된다. 그러나, 10개의 대리점 주문을 물류센터가 종합하여 한번에 처리하게되면 주문Leadtime에 의한 불확실성이 한사이클내에 한번으로 줄일수가 있는, 다시말하자면, 'Risk-pooling'를 볼 수가 있다. 또한, 공장에 재고가 없을시를 대비하여, 물류센터에서 사전에 안전재고를 보유하였을 경우에는 공장의 생산 Leadtime을 최소화할 수 있는, 말하자면 'Depot' 효과를 얻을 수있다.

상술한바에 관하여 연구된 논문들을 아래의 표 (Table 1)에 요약하고 간단히 내용을 서술하였다. Eppen (1979)의 연구는 이 분야의 선구자적인 역할을 하였다. 그는 다음과 같은 결론을 도출하였다. 첫째, System I의 총비용은 대리점의 숫자에의거 선형으로 증가한다. (Linearly Increase) 그러나, 둘째, System II의 총비용은 대리점의 숫자에 의거 감소되는 경향으로 증가한다. (Decreasing Rate or Concave Curve) 다시말하면, 대리점의 숫자를 N 이라고 할때, 총비용은 $\sqrt{N}$에 정비례한다. 그러나 상기 모델의 단점은 물류센터에서 안전재고의 보유를 허용하지 않았기 때문에 상술한바, 'Joint-ordering / Risk-pooling' 효과만이 고려되었다. 상기 연구의 의미있는 결과는 System II의 총비용이 에 정비례)함을 보여줌으로서 System I과 II간의 교차점 (Breakeven Point)의 존재를 간접적으로 보여주었다는데 있다.

Table 1. 물류센터의 경제성평가에 관한 문헌 요약 (정기발주의 경우)

	Lead Time	Risk-Pooling	Breakeven	비고
Eppen(1979)	즉시조달 (Zero Leadtime)	Joint Ordering	간접적 포함	$\sqrt{N}$
Eppen and Schrage(1981)	상수 (Constant Leadtime)	Joint Ordering	고려대상에서 제외	3종류의 유통체인 비교
Jackson(1988)	즉시조달 (Zero Leadtime)	Joint Ordering대 Depot 효과	고려대상에서 제외	Depot 효과검증
Schwarz(1989)	상수 (Constant Leadtime)	Joint Ordering	직접적 포함	Risk-pooling의 비용고려

Eppen and Schrage (1981)는 조달 Leadtime은 Zero로 가정하였으나 Eppen의 모델을 확장하여 아래와 같이 세가지의 유통체널을 비교하는 모델로 확장하였다.

1. 대리점이 없는 분산 유통체널
2. 물류센터가 없는 중앙화된 유통체널
3. 물류센터를 운영하는 중앙화된 유통체널 (단, 물류센터는 재고를 보유하지않음)

Eppen and Schrage는 상기 연구에서 System 3의 총비용이 항상 System 1의 총비용과 System 2의 총비용 사이에 존재한다는 것을 증명하였다. 다시말하자면, Joint-ordering에 의한 물류센터의 경제성은 항상 긍정적이라는 결론을 도출하였다. 다만, 물류센터가 재고를 유지할수 없다는 제약 및 조달 Leadtime이 Zero라는 가정때문에 일반화되기에는 무리가 있다는점에 한계성을 갖고있다.

이에반하여, Jackson (1988)은 'Depot 효과'에 관하여 연구를 하였다. 이를 위하여 그는 물류센터를 운영하는 유통체널을 설정 두가지의 경우를 가정하여 각각의 총비용을 상출하였다. 첫째경우는 물류센터에 재고를 유지하지않는 경우이고; 둘째경우는 물류센터에 안전재고를 우지하는 경우이다. 연구의 결과로 두번째 경우가 첫번째경우보다 항상 적은 총비용을 나타내을 증명함으로서 'Depot 효과'를 긍정적으로 증명하였다. 마지막으로, Schrage (1989)는 'Joint Ordering 효과' 및 'Risk-pooling의 비용'에 관하여 연구를 하였다. 첫째, 'Joint Ordering'의 긍정적인 효과를 증명하였다. 둘째로, 그효과를 내기위한 비용, 즉 'Risk-pooling의 비용'을 계산하여 효과와 비용이 상쇄되는 'Breakeven 점'의 존재를 밝히고 이는 공장에서 조달되는 Leadtime과 물류센터에서 재포장되는 Leadtime의 비율에 비례한다는 결론을 도출하였다.

현실성을 고려하여 현재까지 도출된 문헌상의 결론을 고려할때, 우리는 몇가지의 격차를 발견할 수 있다. 첫째, 많은 문헌이 확실성을 가정하고 있다. 그러나, 현실에 있어서 고객의 수요 및 조달 Leadtime은 많은 불확실성을 내포하고 있다. 본연구는 이러한 격차를 극복하기위하여 수요 및 Leadtime이 확률적인 분포에 따라 변화한다고 가정하였다. 둘째, 대부분의 문헌이 정기적 발주정책을 가정하였다. 그러나, 현실적으로, 특히 주요한 자재에 있어서는 재발주점-정량발주의 정책이 많이 활용되고 있는 상황을 고려하여 본연구에서는 재발주점-정량발주 (S,Q)정책을 가정하였다. 셋째, 그 외의 문헌들은 결론을 유도하기위하여 일방적인 숫자를 이용하였다. 예를 들면, Badinelli (1985) 및 Badinelli and Schwarz (1987)는 ($N^{1/2}$)를 설정하였으나 확증적인 Leadtime을 가정하였으며 물류센터 및 대리점의 주문물량을 일방적으로 큰숫자에 고정하고 분석을 하였다. 이로 인하여 'Depot 효과'가 없다는 결론을 지었다. 상기 주문물량을 지나치게 큰숫자에 고정함에 따라, 물류센터의 최적의 정책은 무재고정책으로 유도되고 이는 결국 'Depot 효과'가 없다는 결론의 오류가 생긴것으로 사려된다.

3. 총비용 평가 모델

3.1 약자 및 가정

본연구에서는 아래와 같은 약자를 사용하였다.

Q_r : 대리점의 단위 주문량 (Order Quantity)
S_r : 대리점의 재발주점 (Reorder Point)
Q_w : 물류센터의 단위 주문량 (대리점 단위 주문량의 배수)
S_w : 물류센터의 재발주점 (대리점 재발주점의 배수)
L_w : 물류센터간에서의 조달 Leadtime
L_r : 대리점에서의 조달 Leadtime
D_r : 대리점에서의 수요
λ_w : $E[L_w]$
λ_r : $E[L_r]$
μ_r : $E[D_r]$
A_wA_r : 물류센터 (w) 또는 대리점 (r)에서의 고정 발주비용
H_wH_r : 물류센터 (w) 또는 대리점 (r)에서의 단위재고당 재고유지 비용
π : 재고부족으로 인한 단위당 기회유실 비용 (Unit Shortage Cost)

본연구를 위한 수학적 모델을 설정하기 위하여 아래와 같은 가정을 하였다.

1. 대리점의 수요는 안정되고 독립적인 Poisson 분포를 따른다. (Stationary & Independent Poisson Process)
2. 재고부족으로 인한 판매유실은 추후에 충족된다고 가정하였다. (Backlog)
3. 분할선적 및 대리점간의 물량이동은 없는것으로 가정하였다.
4. 대리점 및 물류센터에서의 Leadtime은 Exponential 분포를 따른다.

3.2 물류센터의 분석

물류센터에서의 수요는 대리점의 단위주문량인, Q_r, 에 의존하며 이는 N-Erlang 분포의 통합 분포 (Superposition Process)를 따른다 (Deuermyer and Schwarz, 1981). Kim (1991) Cox and Smith (1954)에 의하여 증명된 상술한바 통합분포의 Asymptotic 특성을 활용하여 대리점에서의 수요분포를 분석하였다. 그 결과로, 대리점의 숫자가 20개 이상일 경우에는 물류센터에서의 수요가 평균이 $\mu_W \cong N\frac{\mu_r}{Q}$ poisson 분포를 따른다고 증명하였다. 따라서, 물류센터에서의 Leadtime 동안의 수요는 Geometric 분포를 따른다. 이에 의거하면, 물류센터의 총기대비용, *ECW*,는 아래와 같이 산출된다 (Kim, 1991).

$$ECW(S_w,Q_w) = A_w\frac{\mu_w}{Q_w} + H_wQ_w[\frac{1+Q_w}{2} + S_w - \lambda_r\mu_w + B_w(S_w,Q_w)] \quad (3.1)$$

$$B_w(S_w,Q_w) = (\lambda_w\mu_w)^2R^{sw}/Q_w \text{ and } R = \lambda_w\mu_w/(\lambda_w\mu_w + 1)$$

3.3 대리점의 분석

대리점에서의 Leadtime은 물류센타에서의 Leadtime과 물류센터의 재고부족으로 인한 지연의 합이된다. 전술한 두가지의 Leadtime이 모두 일정한 확률적인 분포를 따르기 때문에 실제 대리점에서의 Leadtime은 혼합분포 (Mixed Distribution)을 따르게 된다. 특히 대리점 및 물류센터에서의 평균 Leadtime이 상이할때, 대리점에서의 실제 Leadtime인 T는 아래와 같이 두개의 Exponential 분포의 혼합분포를 따르며 아래와 같은 분포함수를 갖는다 (Kim, 1991).

$$f(t) = c_1(1/\lambda_r)e^{-t/\lambda r} + c_2(1/\lambda_w)e^{-t/\lambda w}, \qquad (3.2)$$
$$c_1 = (F_w\lambda_w - \lambda r)/(\lambda_w - \lambda_r) \quad \text{and} \quad c_2 = (\lambda_w - F_w\lambda_w)/(\lambda_w - \lambda_r)$$

따라서, 대리점에서의 Leadtime동안의 수요는 Geometric 분포를 따른다. 이에 의거하면, 대리점의 총기대비용인, , 아래와 같이 산출된다.

$$ECR(s_r,Q_r) = A_r\mu_r/Q_r + \pi Br(s_r,Q_r) + H_r[(Q_r + 1)/2 + s_r - \mu_r(\lambda_r + \lambda_w - F_w\lambda_r) + B_r(s_r,Q_r)] \qquad (3.3)$$
$$B_r(s_r,Q_r) = c_1(\lambda_r\mu_r)^2R_r^{sr}/Q_r + c_2(\lambda_w\mu_r)^2R_w^{sw}/Q_r,$$
$$R_r = (\lambda_r\mu_r)/(\lambda_r\mu_r + 1), \text{ and } R_w = (\lambda_w\mu_r)/(\lambda_w\mu_r + 1)$$

System I의 총 기대비용을 산출하기위하여 물류센터의 서비스율인, F_w, 를 0으로 놓으면, System I의 총 기대비용인, ETS I, 은 아래와 같이 산출된다.

$$ETSI = N \cdot A_r\mu_r/Q_r + N \cdot \pi B_r(s_r,Q_r) + N \cdot H_r[Q_r/2 + s_r - \mu_r(\lambda_r + \lambda_w) + B_r(s_r,Q_r)] \qquad (3.4)$$
$$B_r(s_r,Q_r) = [1/(\lambda_r - \lambda_w)][\lambda_r(\lambda_r\mu_r)^2R_r^{sr}/Q_r - \lambda_w(\lambda_w\mu_r)^2R_w^{sr}/Q_r,$$
$$R_r = (\lambda_r\mu_r)/(\lambda_r\mu_r + 1), \text{ and } R_w = (\lambda_w\mu_r)/(\lambda_w\mu_r + 1)$$

또한 (3.1) 과 (3.2)에 의거, System II의 총 기대비용인, ETS II 역시 아래와 같이 산출된다.

$$ETSII = ETW(s_w,Q_w) + N \cdot ECR(s_r.Q_r) \qquad (3.5)$$

System I의 총 기대비용 함수는 단순함수로서 수학적 분석 및 최적해의 함수유도가 가능하나, System II의 총 기대비용 함수는 최적해의 유도가 불가하여 Numerical Serach의 기법을 활용하여 해를 도출하였다.

4. System I 및 II의 최적해

System I 은 실제적으로 1 Echelon 유통채널이다. 따라서, 이는 평균 조달 Leadtime이 $\lambda_r + \lambda w$ 이고 두개의 의사결정변수를 가지며 목적함수는 전 대리점의 총 기대비용을 최소화하는 것이다. 그러나, System II의 경우에는 물류센터를 위한 두개의 의사결정변수가 추가되며, 목적함수 역시 전 대리점 및 물류센터의 총 기대비용을 최소화하는 것이다. 이러한 최적해들의 분석밧위하 아래의 도표와 같은 예를 중심으로 분석을 하였다.

Parameter	λ_w	λ_r	A_w	A_r	H_w	H_r	π	μ_r
값	4 -25	1	0.12	0.3	200	50	1	5

4.1 대리점의 최적 단위주문량

System I에서의 최적 단위주문량은 재고유지비용, 단위발주비용, 및 단위유실비용에 의거 결정된다. Hadley and Whitin (1957)는 최적 단위주문량은 재고유지비용 및 단위유실비용에는 정비례하나 단위발주비용에는 반비례한다고 증명하였다. 또한, 최적 단위주문량은 조달 Leadtime에 정비례한다는 것도 증명하였다. 그러나, System II에서는 대리점과 물류센터의 상관관계때문에 대리점의 최적 단위주문

량 및 재발주점은 대리점의 Parameter이외에도 물류센터의 Parameter의 영향을 받는다.

수리분석의 결과, System II에서 대리점의 최적 단위주문량은 System I에서의 최적 단위 주문량보다 항상 적은것이 증명되었다. 또한, 구최적해의 차이는 두개의 조달 Leadtime의 비율, $\delta = \lambda_w/\lambda_r$, 이 높아짐에 따라 증가한다. 그 이유는 다음과 같이 설명될수 있다. (3.1) 과 (3.3)에 의거하면, System II의 총 재고유지비용은 아래와 같이 산출된다.

$$IC(s_w,Q_w,s_r,Qr) = H_wQ_r[(Q_w + 1)/2 + s_w - \lambda_w\mu_w + B_w(s_w,Q_w)] + NH_r[(Q_r + 1)/2 + s_r - \mu_r(\lambda_r + \lambda_w - F_w\lambda_w) + B_r(s_r,Q_r)] \quad (4.1)$$

첫째, (4.1)에 의하면, 대리점의 단위발주량이 증가함에 따라, 대리점 및 물류센터의 재고유지비용이 증가한다. 둘째, 대리점의 단위발주량이 증가함에 따라, 물류센터의 안전 재고 유지비용이 증가한다. 물류센터의 기본역할의 하나는 적절한 재고를 유지하여 주문즉시 배달을함으로서 대리점에서의 조달 Leadtime을 줄이는것이다. 이를 위하여는 필요한 양의 안전재고를 유지하여야한다. 전술한 바와 같이, 분할선적을 하지않는다고 가정할때, 대리점의 단위발주량의 증가는 물류센터의 안전재고유지비용을 증가시킨다. 결과적으로 대리점의 단위발주량의 증가는 물류센터의 안전재고 및 대리점자체의 재고유지비용의 증가를 초래하여 총 기대비용을 증가시킨다. 또한, 물류센터의 조달 Leadtime이 대리점의 조달 Leadtime에 비해 상대적으로 증가할 경우, 물류센터의 서비스율이 증가한다. 이러한 높은 서비스율을 유지하기위하여는 결과적으로 대리점의 최적 단위발주량이 감소하게된다. 따라서, System I에서의 대리점과 System II에서의 대리점의 최적 단위발주량의 차이는 δ가 증가함에따라 비례하여 증가한다.

4.2 대리점의 재발주점

알려진바와 같이, System I에서는 대리점의 재발주점은 대리점의 조달 Leadtime 에 비례하여 증가한다. 그러나, System II에서는 반대의 경우가 성립된다. 본연구에서 밝혀진바로는, System II에서의 대리점의 최적 단위발주량은 물류센터와 대리점의 조달 Leadtime의 비율에 비례하여 증가한다. 이는 물류센터와 대리점의 조달 Leadtime의 비율이 높아짐에 따라, 물류센터의 서비스율이 증가하기 때문이다. 또한, 시비스율은 대리점의 평균 조달 Leadtime에 비례하여 증가한다. 결과적으로, 그림 3

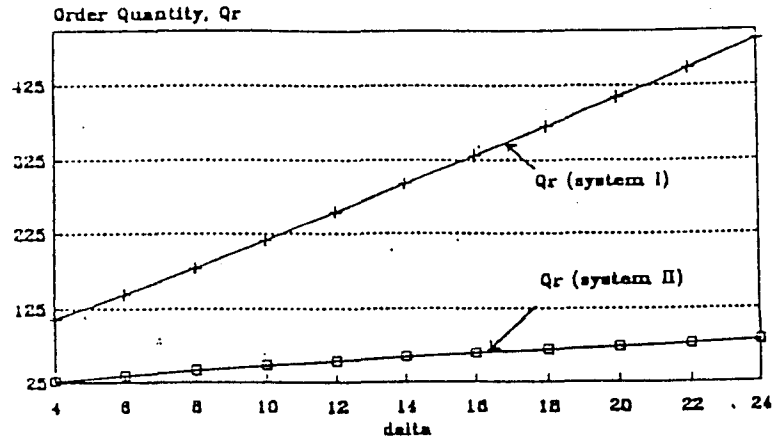

Figure 2. 최적 단위 발주량

(Figure 3)에서 보는바와 같이 System II에서의 대리점의 최적 재발주점은 물류센터와 대리점의 조달 Leadtime의 비율에 반비례한다.

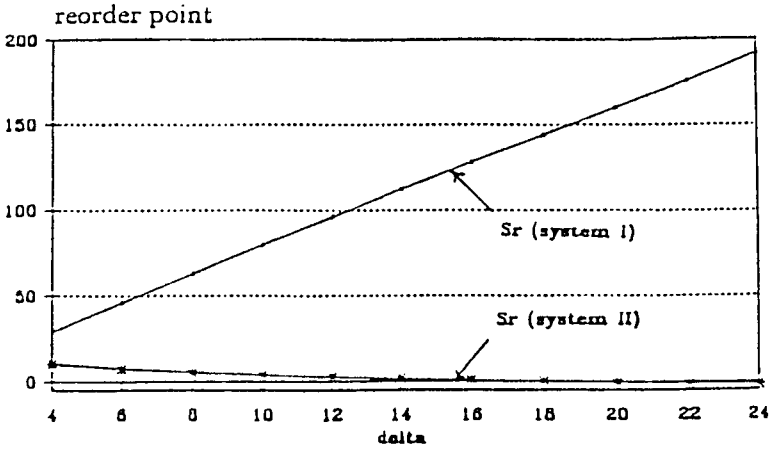

Figure 3. 대리점의 최적 재발주점

그림 2와 3 (Figure 2 & 3)에서 다음과 같은 의미가 함축되어있다. 그림에서 보는 바와 같이, 공장에서의 공급 Leadtime이 대리점의 조달 Leadtime에 비하여 증가할수록, System I과 II에서의 대리점의 최적 재발주점의 차이가 비례하여 증가하고 있다. System I에서는 공장에서의 공급 Leadtime이 증가할수록 발주의 빈도를 줄이기위하여 대리점의 단위발주량이 증가하게 된다. 이에 반하여, System II에서의 대리점의 최적 단위발주량은 다음의 두가지 이유로 감소하게된다. 첫째, 전술한바와 같이 'Joint-ordering 효과'를 활용하기위하여, System II에서는 가능한 대리점의 주문을 통합하려한다. 둘째, System II에서, 대리점의 단위발주량이 적어질수록, 물류센터에서의 서비스율이 증가하게된다. 따라서, 공장의 공급 Leadtime이 증가할수록, System I에서 대리점의 최적 재발주점은 증가하나, System II에서 대리점의 최적 재발주점은 감소하게된다. 결과적으로 공장의 공급 Leadtime이 증가할수록, 물류센터의 조달 Leadtime 중에 적절한 안전재고를 유지하여 대리점의 조달 Leadtime을 줄여주는 'Depot 효과'가 증가하게된다. 다시말하자면, System II의 장점중에 하나는 물류센터에서 안전재고를 유지함으로서, 대리점의 재고부담을 줄이는 것이다. 다음 절에서는 이러한 효과 및 그 한계를 자세히 분석하기로 한다.

5. System I 과 System II의 상쇄점 (Breakeven Point)

물류센터의 설립비용등은 Sunk Cost로 가정할 때, System II에서 물류센터를 운영하면서 발생되는 추가비용은 재고유지 및 발주 비용으로 가정할 수 있다. 반면, 물류센터에서 안전재고를 유지함으로서 대리점의 조달 Leadtime을 최대 $\lambda_r + \lambda_w$에서 최소 λ_r까지 감소할 수 있으며, 이로 인하여 대리점에서 발생하는 재고유지 비용 및 유실비용을 최소화할 수 있다. 이러한 각 System 의 장단점을 요약하면 표 2 (Table 2) 와 같다.

Table 2. 두가지 시스템의 장단점

System	장 점	단 점
System I	물류센타 운영으로 인한 추가비용의 감소	대리점의 재고유지 및 유실비용 증가
System II	대리점의 재고유지 및 유지비용의 감소	물류센타 운영으로 인한 추가비용의 발생

5.1 상쇄점 (Breakeven Point)

두가지 시스템 공히, 공장의 공급 Leadtime 및 대리점의 조달 Leadtime이 증가할수록, 총 기대비용은 증가하게된다. 그러나, 물류센터가 줄여줄 수있는 Leadtime은 공장의 공급 Leadtime이다. 따라서, 물류센터의 효용성은 공장의 공급 Leadtime이 상대적으로 대리점의 조달 Leadtime에 비하여 얼마만큼 긴가에 의존한다. 분석의 편의상 대리점의 평균 조달 Leadtime, λ_r, (대리점까지의 운송 Leadtime)을 1로 고정하고, 공장의 평균 공급 Leadtime, λ_w, 을 변화시키면서, 두 시스템의 총 기대비용 추이를 분석하였다. 그림 4 (Figure 4)에서 보는바와 같이, System I의 총 기대비용, ETS I, 및 System II의 총 기대비용, ETS II, 모두 공장의 공급 Leadtime과 대리점의 조달 Leadtime의 비율, $\delta = \lambda_w/\lambda_r$, 이 증가함에 따라 비례하여 증가한다. 그림에서 보는 바와 같이, 특정지점에 이르면 ETS I 이 ETS II를 교차하여 상회하는 점 (상쇄점: Breakeven Point)을 볼 수있다. 특정한 예제를 들자면, δ가 8이상일 경우 System II의 총 기대비용이 System I의 총 기대 비용보다 적음을 알 수 있다. 다시말하자면, δ가 8 이상일 경우 물류센터를 운영하는것이 더욱 경제적이라 할 수있다. 이상으로 System I과 System II의 총 기대비용사이에 상쇄점 (Breakeven Point), δ_L이 존재함을 제시하였다. 이어지는 절에서는 δ_L이 어떤 성격을 갖고 움직이는가에 관하여 서술한다.

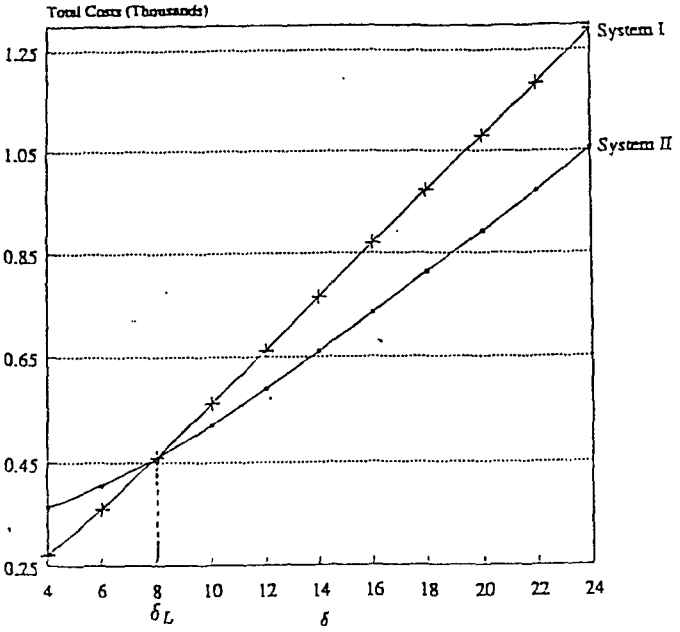

Figure 4. 두 시스템의 총 기대비용

5.2 상쇄점의 민감도 분석 (Sensitivity Analysis)

물류센터 운영으로 인한 추가비용중 대표적인 것은, 센터내 재고유지 비용이며, 이는 절대적으로 단위재고유지 비용인 H_w에 비례한다. 유통 가공의 가능성 및 포장단위를 생각할때, 물류센터의 단위재고유지 비용은 대리점에서의 단위재고유지 비용보다 항상 작다. 따라서, 향후 분석에서는 두 단위재고유지비용의 비율, $\alpha = H_w / H_r$, 는 항상 1보다 작다고 가정하였다.

전술한바와 같이, 물류센터의 단위재고 유지비용이 적을수록, 물류센타는 'Depot '의 역할을 보다 효율적으로 수행할 수있다. 결과적으로 H_w가 감소함에 따라, 상쇄점인 δ_L 역시 비례하여 감소하게된다. 그림 5 (Figure 5)에서 보는바와 같이, α가 0.4일경우에는 상쇄점이 14에서 발생하나, α가 0.2로 감소하면 상쇄점 역시 6으로 감소한다. 따라서, 유통가공으로 인한 납기지연이 큰폭이 아닐경우, 물류센터에서 준-완제품을 유지함으로서 물류센터의 운영비용 및 시스템의 전체 비용을 절감할 수있다.

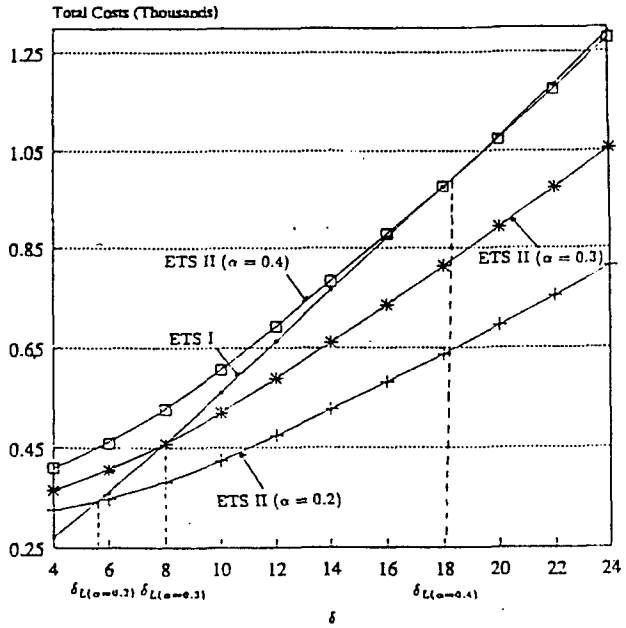

Figure 5. α의 변화에 따른 상쇄점의 민감도

물류센터의 경제성은 전술한바와 같이 대리점의 재고부담을 삭감시키는것이 하나이고, 또한 대리점의 조달 Leadtime을 줄여줌으로서, 대리점에서 판매 유실로 인한 비용을 절감함에 그 둘재 목적이 있다. 따라서, 물류센터의 가치는 대리점에서의 유실비용과 비례한다. 대리점에서의 단위유실비용을 π라 할 때, 그림 6에서 보는 바와 같이, 상쇄점은 π과 반비례한다. 예를 들어, π가 1일 경우에는 상쇄점이 18에서 발생하나, π이 2로 증가할 경우 상쇄점은 8이하로 떨어진다.

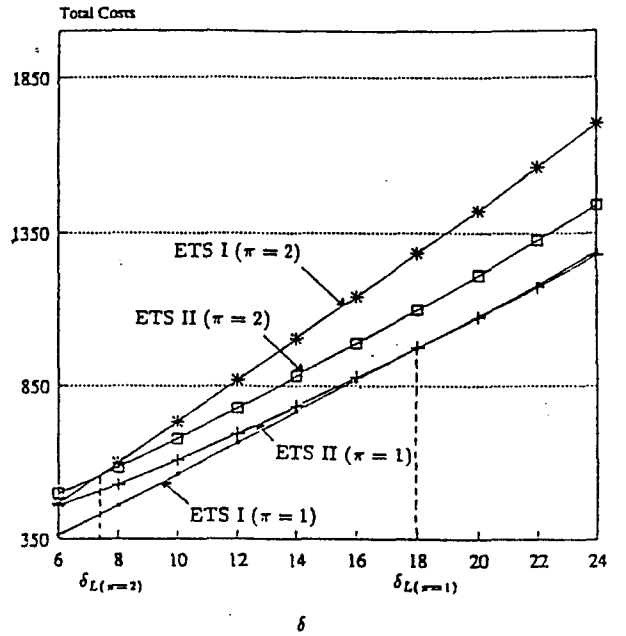

Figure 6. 유실비용의 변화에 따른 상쇄점의 민감도

6. 결론

본 연구는 1 물류센터 - N 대리점 형태의 2단계 유통 체널에 있어서 물류센터의 경제성에 관하여 몇가지 결론을 유추하였다. 조달 Leadtime 이 확증적이고 Zero일 경우, 물량할인 (Quantity Discout) 정책은 대리점 및 물류센터 모두에게 해택을 준다. 곧, 대리점은 할인을 받을 수있고, 물류센터는 보다 큰 주문량을 처리함에 따라 그 효율성을 높힐 수있다. 그러나, 조달 Leadtime이 확률적일 경우에는 그 반대의 효과가 발생한다. 특히 공장의 공급 Leadtime 대 대리점의 조달 Leadtime의 비율인 $\delta=\lambda_w/\lambda_r$이 증가할 경우 대리점의 최적 단위발주량이 감소한다.

물류센터 및 대리점이 최적화 정책을 따른다고 가정할때, 물류센터의 경제성은 항상 성립하지는 않는다. 직감적으로 생각할 때, 물류센터의 가치 및 효용은 물류센터가 감소시켜줄 수있는 공장의 공급 Leadtime에 비례하여 증가한다. 정기 발주의 경우에는 이러한 물류센터의 효용성에 관하여 많은 연구들이 있었으나, 정량-재발주점 발주 정책에 관하여는 상대적으로 연구가 활발하지 않았으며, 특히 많은 경우들이 확증적인 환경을 전제로 하였다. 특히, Silver and Peterson (1985)는 지속적인 재고 발주 정책이 정기적 발주정책 보다 항상 우세하다고 주장하였으나 이를 증명할수 있는 연구는 기 발표된것이 없다.

본연구에서는 아래와 같은 결론을 유출하였다.

1. 유통체널의 총비용을 목적함수로 가정할 경우, 대리점의 최적 단위발주량은 Leadtime 및 수요등의 환경이 확증적일 경우 보다 확률적인 경우가 항상 작다.

2. 물류센터의 기능중 하나인 'Depot 효과'는 공장에서의 제조 Leadtime 이 물류센터와 대리점간의 수소 Leadtime의 비율에 비례하여 증가한다.

3. 물류센터의 경제성은 물류센터의 운영으로 인한 추가비용과 물류센터의 운영으로 얻을 수 있는 대리점의 조달 Leadtime의 감소로 인한 비용절감 효과에 의존한다.

4. 물류센터의 효용 분기점은 항상 존재하며, 이는 공장에서의 제조 Leadtime 이 물류센터와 대리점간의 수소 Leadtime의 비율에 의하여 변동된다.

5. 물류센터의 효용분기점은 물류센터와 대리점의 단위재고비용의 비율에 반비례하며, 대리점의 단위 유실비용에 정비례한다.

참 고 문 헌

[1] Badinelli, R. D. and L. B. Schwarz, "Backorders Optomization in a One-Warehouse N-Identical Retailer Distribution System, "*Naval Research Logistics Quarterly*, vol. 35, 427-440, 1988

[2] Banerjee, A, "A Joint Economic Lot Size Model for Purchaser and Vendor," *Decision Sciences*, vol. 17, 292-311, 1986

[3] Buchanan, J, "The Theory of Monopolitic Quantity Discounts," *Review of Economic Studies*, vol. 20. 199-208, 1953

[4] Cox, D. R. and H. D. Smith, "On the Superpositions of Renewal Processes," *Biometrica*, vol. 41, 475-490, 1954

[5] Crowther, J. F, "Rationale of Quantity Discounts," *Havard Business Rev.*, vol. 42, 121-127, 1967

[6] Dada, M. and K. N. Srikanth, "Pricing Policies for Quantity Discounts," *Management Science*, vol. 33, 1247-1252, 1987

[7] Deuermeyer, B. L., and L. B. Schwarz, "A Model for Analysys of System Service Level in

Warehouse-Retailer Distribution Systems : The Identical Retailer Case," *Multi-level roduction/Inventory Control : Theory and Practice*, L. B. Schwarz (Ed.), North-Holland, Amsterdam, 1981, 163-193, 1981

[8] Eppen, G. and L. Schrage, "Centralized Rodering Policies in Mulit-Warehouse System with Lead Times and Random Demand, *"Multi-Level Production/Inventory Control : Theory and Practice,*. B. Schwarz(Ed.), North-Holland, Amsterdam, 1981, 51-67, 1981

[9] Foraker, A, "New Price Discount Policy Increase Profits," *Industrial Marketing*, 114-116, 1961

[10] Jacckson, P. L, "Stock Allocation in a Two-Echelon Distribution System or What to Do until Your Ship Comes in," *Management Science*, vol. 34, 881-895, 1988.

[11] Kim, J. D, *Modeling a two-echelon in(s.Q) distribution system with stochastic lead times*, Unpublished Ph. D. dissertation, Pennsylvania State University, 1991

[12] Lee, H. and M. J. Resenblatt, "A Generalized Quantity Discount Pricing Model to Increase Supplier's Profits, *"Management Science*, vol. 32, 1177-1185, 1986

[13] Monahan, J. P., "A Quantity Discount Pricing Model to Incrase to Vendor Profits," *Management Science*, vol. 30, 720-726, 1984

[14] Schwarz, L. B., B. L. Deuermeyer, and R. D. Bandinelli, "Fill-Rate Optimization in a One-Warehouse, N-Identical Retailer Distribution System, *"Management Science*, vol.31, 488-498, 1985

[15] Schwarz, L. B, "A Model for Assessing the Value of Warehouse Risk-Pooling : Risk-Pooling over Outside-Supplier Leadtimes, *"Management Science*, vol. 35, 828-842, 1989

[16] Silver, E. A. and R. Pererson, *Decision System for Inventory Management and Production Planning, John-Wiley and Sons*, 1985, 1985