

서비스 수준을 고려한 공급 사슬 내의 효과적인 수요 선택 방법에 관한 연구

The Effective Demand Selection Method for Satisfying Service Levels in Supply Chains

박기태* · 권익현** · 김성식***

고려대학교 산업시스템정보공학과, * : start176@korea.ac.kr, ** : queens@korea.ac.kr,

*** : sungskim@korea.ac.kr

Abstract

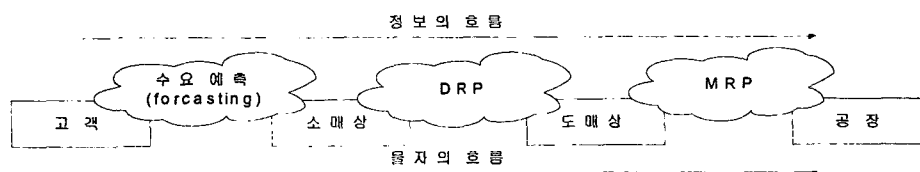
현실에서의 공급사슬에 대한 분배 계획은 수요예측(forecasting)을 통해 얻어진 확률적인 분포(stochastic distribution)를 바탕으로 수립된다. 그러나 이러한 수요예측 값은 특정한 한 값을 갖는 것이 아니라 일반적으로 특정한 범위로서 존재하며 이 범위 내의 한 값을 의사 결정자가 선택하고 이를 바탕으로 분배 계획을 수립하게 된다. 하지만 수요의 불확실한 특성 때문에 효과적인 값을 결정하는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 본 연구에서는 확률적인 형태의 다양한 수요 분포 형태를 정의하고, 이러한 여러 가지 분포 하에서 수요 선택에 영향을 주는 요소들을 규명한다. 이를 바탕으로 적절한 실험계획과 모의실험을 통해서 효과적인 수요 선택 방안을 도출한다. 이와 같은 접근 방법을 통해 다양한 실험 조건 하에서 공급 사슬 내의 총 비용을 최소화 시키면서 동시에 목표포 하는 서비스 수준(target service level)을 만족하는 수요 선택 방안을 제시한다.

1. 서론

제품 및 제조기술이 보편화됨에 따라 비용 및 납기 등에 대한 고객만족의 극대화라는 기업의 생존전략을 위해서 물류 및 공급사슬 관리의 중요성은 최근 더욱 부각되고 있다. 또한 기업 활동이 개방화, 글로벌화 됨에 따라 생산제조 및 물류관리가 더욱 복잡해지고 불확실성이 높아지고 있다. 이러한 불확실성을 줄이고 급변하는 기업 환경 변화에 대응하기 위해서 기업은 공급사슬(supply chain) 상에 위치한 기업들 간의 상호 협력과 조정을 통한

전체적인 최적화를 추구하는 공급사슬 관리(Supply Chain Management: SCM)에 관심을 기울이고 있다[3].

[그림 1]에서 나타낸 바와 같이 MRP(Material Requirements Planning)는 수요예측(forecasting)을 기반으로 만들어진 MPS(Master Production Scheduling)를 입력 값으로 받아서 상위 부품에서 하위 부품까지 세부적인 생산량을 결정하는 기본으로, 생산 계획의 가장 중요한 근간이 된다. MRP에서 계획된 계획량을 바탕으로 DRP(Distribution Requirements Planning)는 고객의 요구에 따라 각 분배 거점으로 분배 계획을 수립하게 된다[8]. 이러한 시스템 내에서 가장 상위 단계 의사 결정인 수요예측은 전체적인 시스템의 효율성에 크게 영향을 준다. 공급 사슬 상에서의 채찍 효과(bullwhip effect)는 잘못된 수요예측의 결과로 나타나는 하나의 예로써 설명된다[2]. 한편, 현실에서 수요예측 값은 특정한 한 값으로 존재하는 것이 아니라 구간을 가지는 범위 값으로 존재하며 의사 결정자는 이 범위 내 여러 대안들 가운데 하나를 선택하여 수요예측 값으로 확정하게 된다. 이러한 수요예측 값의 정확성의 차이에 따라 전체 시스템의 생산 및 분배 계획은 큰 영향을 받기 때문에 수요예측은 계획 수립 시 가장 우선시 고려되어야 할 중요한 요소이다. 최적의 수요예측 값을 기반으로 MRP와 DRP가 수립되었을 때, 전체 시스템의 효율성 증가, 비용의 감소, 하위 단계 계획의 정확성 증대 등의 효과를 기대할 수 있다. 하지만 현실에서 수요예측 정보를 생산계획의 수립과정에 정확하게 반영하여 적용하기에는 많은 어려움이 따른다. 이와 같은 이유로 인하여 기업은 수요예측의 불확실성을 알고 있으면서도 이를 여과 없이 전적으로 따르고 있으며, 그



[그림 1] 공급사슬 내의 물류 흐름도

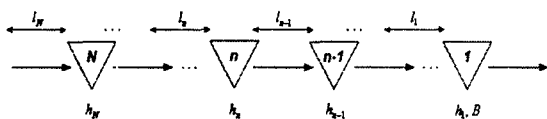
로 인하여 대부분의 기업들은 필요 이상의 안전재고를 쌓아두게 된다. 현실적인 상황을 보다 잘 반영하기 위해서는 기존의 안전재고를 통한 접근 방법은 실제적인 공급사슬 계획에 있어서 사용이 부적절하고 새로운 서비스 수준의 충족 방법이 나와야 하며 이를 기초로 분배계획이 수립되어야 한다. 따라서 본 연구는 확실적인 예측 수요의 형태 하에서 일정한 서비스 수준을 보장하는 수요예측 값을 모의실험을 통하여 알아내고자 한다.

적절한 서비스 수준을 고려한 수요 예측 값 분석을 통해 생산 및 재고 분배 계획의 효율성을 재고하려는 연구는 꾸준히 행해져왔다. Diks, et al.[5]은 서비스 수준을 중심으로 공급사슬 내의 재고 문제를 다룬 연구들을 전반적으로 고찰하였다. 박창규[1]는 다양한 서비스 수준 관점에서 확률적 수요를 갖는 공급 사슬의 정기발주 정책에 초점을 맞추어 모의실험에 기초한 발견적 기법을 제시하였다.

본 연구의 2절과 3절에서는 계층 재고 정책 (echelon stock policy)을 기반으로 다양한 수요 분포의 형태를 정의하고 이러한 여러 가지 분포 하에서 수요 선택에 영향을 주는 요소들을 효과적인 실험계획과 모의실험을 통해서 규명한다. 4절에서는 다양한 실험 조건하에서 공급 사슬 내의 총 비용을 최소화 시키면서 동시에 목표로 하는 서비스 수준 (target service level)을 만족하는 수요 선택에 관한 방안을 제시하고자 한다.

2. 문제 정의

본 연구의 대상이 되는 공급 사슬 구조는 [그림 2]와 같은 노드들이 연속적으로 이루어진 시리얼 형태(serial system)를 나타내며, 주기적 재고조사(periodic review) 주문 정책을 따른다. [그림 2]의 N 개의 노드로 구성된 시리얼 시스템에서 최하위 단계인 소매점에서부터 최상위 노드의 순으로 노드번호를 부여한다. 각 노드에 해당하는 조달시간(lead time)과 재고유지 비용(holding cost)은 각각 l_1, l_2, \dots, l_N 과 h_1, h_2, \dots, h_N 으로 나타내고 최하위 노드의 재고이월 비용(backorder cost)을 B 로 나타내었다. 본 연구에서는 주문비용(ordering cost)은 고려하지 않는다. 이와 같은 이유는 본 연구에서와 같은 주기적 재고조사 주문 정책 하에서 long-run으로 보았을 경우의 평균 주문비용은 일정하기 때문이다[7]. 각각의 노드들은 서로 다른 조달 시간(lead time)을 가지며 이러한 조달 시간은 단위 계획기간의 정수배의 형태로 확정적으로 주어진다. 재고 비용에서 재고이월 비용이 재고유지 비용보다 크고 재고유지 비용은 시리얼 상의 하위 단계에 있는 노드일수록 상위에 있는 노드들보다 상대적으로 큰 값을 갖는다.



[그림 2] 공급 사슬 네트워크 모형

수요 분포의 형태는 매 기간 평균과 분산이 주어지는 정규 분포(normal distribution)로 한다.

이러한 수요 정보를 바탕으로 생성되는 확실적인 분포에서 적절한 수요 값을 선택하는 방법으로 각 기간별 수요 분위수(demand quantile)값을 정하게 된다. 여기서 분위수(quantile)는 임의의 값의 범위 중에서 한 값을 말하는데, 일반적으로 누적된 분포 값에서 백분위수 값을 가리킨다[6]. 정규분포를 나타내는 특정한 t 기간의 평균이 μ_t 표준편차가 σ_t 일 경우 수요 분위수 값으로 q_t 를 선택하였을 경우 해당기간의 수요예측 값 $D_t = \mu_t + \sigma_t \cdot z_{q_t}$ 로 계산된다. 예를 들어, 평균이 50이고 표준편차가 5인 정규분포에서 수요 분위수 값으로 0.9를 선택하였을 경우 $z_{0.9} = z_{0.9} = 1.28$ 이 되고, 수요예측 값은 56.4가 된다.

본 연구에서 사용된 분배 알고리즘은 Clark and Scarf[4]가 제안한 계층 재고 정책(echelon stock policy)에 따라서 이루어진다. 계층 재고 정책은 하위 단계의 재고량의 합에 기반 하는 재고 정책으로 상위 단계의 재고량 결정에 있어 하위 단계의 재고를 많이 가지고 있는 경우 상위 단계의 재고량을 낮춰주고 하위 단계의 재고가 적을 경우 상위 단계의 재고량을 높임으로써 상위 단계의 재고량을 보다 동적으로 결정할 수 있다. 따라서 수요에 따른 재고량을 동적으로 조절 할 수 있기 때문에 기간별 수요 분위수 값을 알아보기 위해서는 가장 적합한 정책이다.

분배 계획과 관련된 모든 상황이 매 기간 초에 발생하고, 전체 시스템을 구성하는 모든 노드들에서 발생하는 일련의 사건들은 다음과 같은 순서로 진행되어진다.

- STEP 1. 계획 기간 동안의 수요를 만족시키기 위한 새로운 수송 물량 결정
- STEP 2. 현재 기간의 수요를 만족시키기 위한 수송 물량 도착 및 물량 이동
- STEP 3. 주어진 수요 분포에 따른 실수요 발생 및 수요 정보 갱신
- STEP 4. 분배 계획의 결과로 발생한 재고 비용 계산

본 연구에서 사용 되는 기호는 다음과 같다.

<기호 정의>

- N : 노드 개수
- T : Rolling horizon 횟수
- D_t : 기간 t 시점에서의 수요예측 값
- IL_{it} : 노드 i 의 기간 t 에서의 재고량
- X_{it} : 노드 i 의 기간 t 에서의 수송 중 재고량
- CL_{it} : 최상위 공급자로부터 노드 i 까지의 누적 조달 시간(cumulative leadtime)
- DN : 수요 발생 노드
- s_i : 노드 i 를 통해 직접적으로 제품을 공급 받는 하위 노드의 집합

정의된 기호를 바탕으로 분배 알고리즘을 모델링하면 다음과 같다.

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N [h_i \max(IL_{it}, 0) + B \max(-IL_{it}, 0)] \quad (1)$$

$$s.t \quad (2)$$

$$i=1, \dots, N, t=1, 2, \dots, T+CL; \quad (3)$$

$$IL_i \geq 0, \quad i \in DN \quad (4)$$

$$X_{it} \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, N, t=1, 2, \dots, T+CL; \quad (4)$$

분배 계획은 모든 노드에서 발생하는 재고 유지비용과 재고 이월 비용의 합을 최소화 시키는데 목적이 있다. 제약 식으로는 해당 노드에 대한 t 기간의 재고량은 $(t-1)$ 기간의 재고량과 t 기간에 새로이 도착하는 물량의 합에서 해당 노드의 t 기간의 수요와 하위 노드들의 요구에 의해 보내지는 물량의 합을 뺀 양과 같아야 한다는 제약, 수요가 발생하지 않는 노드의 경우 재고 이월이 발생할 수 없다는 제약, 그리고 비음수 제약 식으로 이루어져 있다. 분배 및 생산 계획은 고정된 값의 적절한 기간별 수요예측(forecasting)에 근거하여 확정적(deterministic)인 분배 계획을 수립하게 되고, 계획은 주어진 계획 기간(planning horizon)내에 각 기간에서의 수송 재고량(transit inventory)이 된다.

본 연구에서 궁극적으로 알아내고자 하는 것은 목표로 하는 서비스 수준을 만족하면서 동시에 전체 재고비용의 총합을 최소화할 수 있도록 하는 수요 분위수의 대안이다. 본 연구에서는 서비스 수준의 형태를 재고부족이 발생하지 않을 확률(non-stockout probability)로 정의하였고, 이를 SL 이라고 하면, 서비스 수준 SL 은 다음과 같은 식을 통해 나타낼 수 있다.

$$I_t = \begin{cases} 1, & FD_t \leq IL_t \\ 0, & FD_t > IL_t \end{cases} \quad (5)$$

$$SL = \frac{\sum_{t=1}^T I_t}{T} \quad (6)$$

식 (5)는 확률 값을 서비스 수준에 대한 지시함수(indicator function) I_t 에 대한 함수로 정의하였고, 노드 1의 현재재고 보다 실제 발생하는 수요가 작을 때는 1, 클 때는 0으로 한다. 식 (6)에서 서비스 수준은 전체 계획 기간 동안에 재고 부족이 일어나지 않는 확률로 표시한다. 따라서 전체 실험 횟수에 대하여 재고 부족이 일어나지 않았을 때의 횟수를 나누어 주면 구하고자 하는 서비스 수준이 된다.

3. 모의실험 위한 실험 계획

본 장에서는 실험 계획법에 의해 각 요소들을 적절하여 조합하여 <표 1>과 같이 실험을 설계하였다. 인자(factor)를 구성하는 요소는 노드 수, 조달 시간, 재고유지 비용, 재고이월 비용, 기간별 수요의 평균과 분산으로 구성한다. 본 연구에서는 이와 같이 인자수를 6, 각 인자의 수준 수를 2로 정하고 2^6 요인 배치법을 통해 실험을 수행하였다. 따라서 모든 수준의 조합에서 실험이 이루어져야 하므로, 실험의 반복 없이 64번의 실험을 실시하였다.

실험 계획법에 의해 설계된 각각의 실험은 타당한 수요 분위수 대안이 결과로써 나타나게 된다. 이러한 대안들의 형태는 <표 2>에서 나타낸 것처럼 유의한 구간 값을 갖는 범위 0.9~0.4에서 크게 수요 분위수가 일정한 값을 갖는 수요 분위수의 형

태, 감소하는 형태, 증가하는 형태로 구분하여 6개의 형태로 대안을 나눈다.

<표 1> 실험 계획법에 의한 실험 설계

Design of Experiment		
인자(factor)	인자 수준 (level of factors)	
	평균 (μ)	(-)
	(+)	100
분산 (σ^2)	(-)	2^2
	(+)	10^2
재고이월 비용 (B)	(-)	10
	(+)	100
재고유지 비용 (h_1)	(-)	1
	(+)	10
노드 수 (N)	(-)	2
	(+)	5
조달 시간 (L)	(-)	1
	(+)	3

본 연구에서는 <표 2>와 같은 대안을 선정하여 이 가운데 총 비용이 최소가 되는 대안을 선택하는데, 이는 정해진 서비스 수준을 만족하는 수요 분위수 대안을 찾는 데 그 목적이 있다. 수요 분위수의 대안은 노드의 개수, 조달 시간에 따라 수요 분위수의 개수가 정해진다. 예를 들어, 노드의 개수가 N 이고 최상위 노드로부터 최하위 노드까지의 누적 조달시간이 L 기간, 즉 $l_1+l_2+\dots+l_N=L$ 이라고 할 경우 결정해야 할 수요 분위수의 개수는 $(L+1)$ 이 된다. 따라서 노드 수가 2, 조달 시간이 1이라고 하면 DQ5의 대안은 1기간, 2기간, 3기간 각각 0.9, 0.65, 0.4의 수요 분위수 값을 갖게 된다. 이러한 방법으로 DQ6까지 실험하여 총재고 비용이 최소가 되고 목표로 하는 서비스 수준을 만족하는 수요 분위수 대안을 찾게 된다.

<표 2> 수요 분위수 대안

수요 분위수 대안	수요 분위수 조합
DQ1	0.9
DQ2	0.8
DQ3	0.7
DQ4	0.6
DQ5	0.4~0.9에서 증가 패턴
DQ6	0.4~0.9에서 감소 패턴

본 연구에서는 실험의 신뢰성을 위하여 20회의 반복실험을 수행하였으며, 실험이 안정화 될 때까지의 초기 데이터(pilot data)를 제거하여 모든 통계적 수치를 초기화하고, 안정 상태에 돌입한 후 10,000회의 실수요(realized demand)가 발생할 때까지 실험을 수행하였다. 이러한 절차에 따라서 앞서 세워놓은 모든 수요 분위수의 대안들을 입력 값으로 하여 모의실험을 반복 수행한다.

4. 실험 결과

<표 3>은 서비스 수준을 고려하지 않았을 경

우 재고 비용이 최소가 될 때의 최적 수요 분위수 대안을 나타낸다. 이 경우 노드 수가 많아질수록 수요 분위수 대안 중 감소 패턴(DQ6)이 총 비용 면에서 유리하게 나타난다. 이와 반대로 노드 수가 적어질수록 일정한 값을 유지하는 패턴(DQ1, DQ2) 즉, 모든 노드에 대하여 같은 수요 분위수를 유지하는 것이 유리하다. 재고 조달시간의 변화는 수요 분위수에 미치는 영향은 노드 수가 늘어날 경우의 수요 분위수에 미치는 영향과 비슷하다. 실험에서 평균의 변화에 따른 수요 분위수와 총 비용은 영향을 받지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 노드에서 발생하는 비용은 수요예측 값과 실제 수요(realized demand) 값의 차에 따라 재고유지 비용 또는 재고이월 비용이 발생하게 되며, 수요의 평균이 증가하거나 감소해도 기간별 수요 예측 값과 실제 수요 값의 편차는 일정하기 때문에 수요 분위수와 총 비용에는 영향을 주지 못한다. 재고이월 비용이 커지면 수요 분위수 대안 중 되도록 큰 값의 대안을 정하는 것이 유리하며, 반대로 재고유지 비용이 커지면 수요 분위수 대안 중 작은 값을 갖는 것이 유리하다.

<표 3> 서비스 수준을 고려하지 않을 경우 수요 분위수 결과

인자 실험	μ	σ	B	h	N	l	수요 분위수	
							평균비용	SL
1	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	DQ2	
							7.397	0.870
2	(+) (-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	DQ2	
							7.397	0.872
...
63	(-)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	DQ5	
							873.521	0.972
64	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	DQ5	
							862.682	0.970

* 지면관계상 실험 결과 일부를 생략하였음.

<표 4> 서비스 수준에 따른 수요 분위수 결과

인자 실험	μ	σ	B	h	N	l	수요 분위수	
							평균비용	SL
1	-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	DQ2	
							7.397	0.870
	0.8	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	DQ2	
							7.397	0.870
0.9	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	DQ1		
						8.324	0.960	
...
64	-	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	DQ5	
							862.682	0.970
	0.8	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	DQ5	
							862.682	0.970
0.9	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	DQ5		
						862.682	0.970	

* 지면관계상 실험 결과 일부를 생략하였음.

<표 4>는 서비스 수준(SL)이 90%(0.9) 이상

을 만족할 때와 서비스 수준이 80%(0.8) 이상을 만족할 때, 마지막으로 서비스 수준을 고려하지 않았을 때의 수요 분위수를 나타낸다. 재고유지 비용이 늘어나면 재고 비용이 최소가 되는 대안의 서비스 수준이 다른 경우와 비교하여 다소 낮은 결과를 가져온다. 이는 상대적으로 재고이월 비용이 높기 때문에 기간별 재고 부담을 줄이려고 하기 때문이다. 따라서 목표로 하는 서비스 수준이 높아지면 보다 높은 수요 분위수의 대안을 선택하게 된다.

5. 결론

본 연구에서는 일정 서비스 수준에 따른 수요 예측 값을 알아보기 위하여 적절한 수요 분위수의 대안을 정의하였다. 또한, 효과적인 실험 계획법을 통해 서비스 수준에 따른 수요 분위수 대안을 제시하였고, 수요 분위수에 영향을 주는 인자에 따른 결과를 제시하고 분석하였다. 지면이 한계가 있고 실험의 결과가 방대하여 실험 결과 전체를 보여주고 분석할 수는 없었지만 수요 분위수에 영향을 주는 특징적인 인자에 대한 결과를 분석, 제시할 수 있었다.

추후 연구로는 본 연구를 바탕으로 복잡한 수요 분포의 형태를 반영하여 최적 분위수를 찾아내는 절차에 대한 연구가 이루어져야 한다. 또한 보다 현실적인 공급 사슬 구조를 반영하기 위해서는 트리형태(arborescent)의 네트워크 구조를 반영할 수 있도록 하는 연구가 추가적으로 필요하다.

참고문헌

- [1] 박창규, 공급사슬 내의 재고관리를 위한 모의 실험에 기초한 발전적 기법, *IE Interfaces*, 제13권, 제3호(2000), 424-430.
- [2] Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J. K. and Simchi-Levi, D.(2000). Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information, *Management Science*, Vol.46, No.3(2000), 436-443.
- [3] Chopra, S. and Meindi, P., *Supply chain management: strategy, planning, and operation*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2001.
- [4] Clark, A. J. and Scarf, H., Optimal policies for a multi-echelon inventory problem, *Management Science*, Vol.6, No.4(1960), 475-490.
- [5] Diks, E. B., de Kok, A. G. and Lagodimos, A. G., Multi-echelon systems :A service measure perspective, *European Journal of Operational Research*, Vol.95(1996), 241-263.
- [6] Evans, M., Hastings, N. and Peacock, B., *Statistical distributions*, Wiley, New York, 2000.
- [7] Shang, K. H. and Song, J. S., Newsvendor bounds and heuristic for optimal policies in serial supply chains, *Management Science*, Vol.49, No.5 (2003), 618-638.
- [8] Vollmann, T. E., Berry, W. L., Whybark, D. C. and Jacobs, F. R., *Manufacturing planning and control systems for supply chain management*, McGraw-Hill, 2004.