

공급망의 목표 서비스 수준 만족을 위한 효과적인 수요선택 방안

박기태* · 권익현**

*LG디스플레이 · **인제대학교 시스템경영공학과

Effective Demand Selection Scheme for Satisfying Target Service Level in a Supply Chain

Gi-Tae Park* · Ick-Hyun Kwon**

*ERP Team, LG Display

**Department of Systems Management Engineering, Inje University

Abstract

In reality, distribution planning for a supply chain is established using a certain probabilistic distribution estimated by forecasting. However, in general, the demands used for an actual distribution planning are of deterministic value, a single value for each of periods. Because of this reason the final result of a planning has to be a single value for each period. Unfortunately, it is very difficult to estimate a single value due to the inherent uncertainty in the probabilistic distribution of customer demand. The issue addressed in this paper is the selection of single demand value among of the distributed demand estimations for a period to be used in the distribution planning. This paper proposes an efficient demand selection scheme for minimizing total inventory costs while satisfying target service level under the various experimental conditions.

Keywords : Supply Chain, Distribution Planning, Demand Selection, Service Level

1. 서론

최근 들어 제품 및 제조기술이 보편화됨에 따라 비용 및 납기 등에 대한 고객만족의 극대화라는 기업의 생존전략을 위해서 물류 및 공급망관리의 중요성은 더욱 부각되고 있다. 또한 기업 활동이 개방화, 글로벌화됨에 따라 생산 및 물류관리가 더욱 복잡해지고 불확실성이 높아지고 있다. 이러한 불확실성을 줄이고 급변하는 기업 환경 변화에 대응하기 위해서 기업은 공급망(supply chain) 상에 위치한 기업들 간의 효과적인 정보공유와 상호 협력을 통한 전체적인 최적화를 추구하는 공급망관리(supply chain management: SCM)에 더욱 더 많은 연구와 투자를 진행하고 있다[8].

<그림 1>에서 나타낸 바와 같이 MRP(material

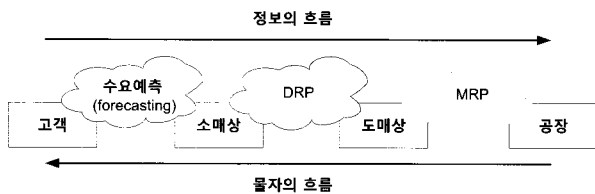
requirements planning)는 수요예측을 기반으로 생성된 MPS(master production scheduling)를 입력 데이터로 사용하여 BOM(bill of materials) 상에 존재하는 상위 부품에서 최하위 부품까지의 세부적인 생산량과 생산시점을 결정하는 기법으로써, 공급망관리에 있어서 가장 중요한 근간이 된다. MRP에서 계획된 계획량을 바탕으로 DRP(distribution requirements planning)는 고객의 요구를 만족시키기 위해 공급망 상에 존재하는 각 분배 거점으로 보내지는 공급량과 공급시점을 결정하는 분배 계획을 수립하게 된다[16]. 이러한 일련의 생산 및 분배계획 수립 과정에서 가장 상위 단계의 의사 결정인 수요예측은 전체적인 공급망의 효율성에 중대한 영향을 미치는 요소이다. 공급망상에서의 채찍 효과(bullwhip effect)는 잘못된 수요예측의 결과로 나타

† 이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-352-D00205)

‡ 교신저자: 권익현, 621-749 경남 김해시 어방동 607 인제대학교 시스템경영공학과

Tel: (055) 320-3992, E-mail: ikwon@inje.ac.kr

2009년 1월 접수; 2009년 2월 수정본 접수; 2009년 2월 게재확정



<그림 1> 공급망 내의 정보 및 물류 흐름도

나는 왜곡된 고객 수요정보를 말하며, 채찍 효과의 원인과 이를 줄이기 위한 다양한 연구가 현재까지도 활발하게 진행되고 있다[7,15].

한편, 일반적으로 현실에서 수요예측 값은 특정한 한 값으로 존재하는 것이 아니라 특정한 확률분포의 구간을 가지는 범위 값으로 존재하게 되며 공급망 계획을 수행하는 의사 결정자는 이 범위 내에 존재하는 수많은 대안들 가운데 하나를 선택하여 수요예측 값으로 확정하게 된다. 선택된 예측수요의 정확성의 차이에 따라 전체 공급망의 생산 및 분배계획은 큰 영향을 받기 때문에 효과적인 수요예측은 공급망 분배계획 수립 시 가장 우선적으로 고려되어야 할 중요한 분야이다[2].

즉, 적절한 예측 수요에 기반을 두어 MRP와 DRP가 수립되었을 경우, 비용의 감소, 고객 서비스 만족도 증가, 하위 단계 계획의 정확성 증대와 같은 전체 공급망의 효율성 증가를 기대할 수 있다.

그러나 고객 수요의 내재된 불확실성으로 인해 실제 현장에서 수요예측 정보를 공급망 계획의 수립과정에 정확하게 반영하여 적용하기에는 많은 어려움이 따른다.

이와 같은 이유로 인하여 기업은 수요예측의 불확실성을 알고 있으면서도 이를 여과 없이 전적으로 따르고 있으며, 그로 인하여 대부분의 기업들은 필요 이상의 안전재고를 쌓아두게 된다. 따라서 기존의 수학적 모형들을 통해 안전재고를 계산하는 접근 방법은 실제적인 공급망의 분배계획을 위해 사용되기에 한계점이 존재하기 때문에 현실적인 상황을 보다 잘 반영할 수 있는 새로운 방법론의 개발이 요구된다. 또한 현실적인 환경을 보다 효과적으로 반영하기 위해서는 재고비용의 최소화뿐만 아니라 주어진 목표 서비스 수준(target service level)을 함께 만족할 수 있는 방법이 필요하며 이를 기초로 공급망 분배계획이 수립되어야 할 것이다. 따라서 본 논문은 현실적인 공급망 분배계획을 수립하기 위한 방안으로 다양한 확률적인 예측 수요의 형태 하에서 계획기간 동안 전체 공급망에서 발생하는 재고비용의 합을 최소화하면서 동시에 주어진 목표 서비스 수준을 보장하는 수요예측 값을 시뮬레이션을 통하여 알아내는 것을 목적으로 한다.

Forester[11]의 연구 이후로 공급망에 관한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 재고비용과 서비스 수준

을 함께 고려하는 연구의 대표적인 예로 Diks 등[10]은 서비스 수준을 중심으로 공급망 내의 재고 문제를 다룬 기존 연구들을 다양한 분야별로 구분하여 체계적으로 정리하였다. 박창규[3]는 다양한 서비스 수준 관점에서 확률적 수요를 갖는 공급망의 정기발주 정책에 초점을 맞추어 시뮬레이션에 기초한 발견적 기법을 제시하였다.

Kwon 등[13]은 비안정적인 고객수요(non-stationary customer demand)를 따르는 2단계 분배형 공급망의 목표 서비스 만족을 위한 사례기반 추론(case-based reasoning)을 기반으로 하는 강화학습(reinforcement learning) 기법을 제안하였다. 윤병희 등[5]은 비안정적인 고객수요를 따르는 다단계 공급망을 대상으로 하여 주어진 목표 서비스 수준을 준수하기 위한 계층재고(echelon stock)를 이용한 효과적인 재고통제 기법을 제안한 바 있다.

Kwon 등[12]은 정규분포 따르는 다단계 공급망에서 fill rate 형태의 서비스 수준을 만족시키면서 재고유지비용의 합을 최소화하는 시뮬레이션 기반의 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 본 논문과 유사한 기존 연구로 박기태 등[1]은 수요 분위수(demand quantile) 개념을 이용하여 안정적인 고객수요와 비안정적인 고객수요 하에서 재고유지 비용과 재고이월 비용의 총합을 최소화하는 수요선택 방안을 제안하고 다양한 시뮬레이션을 통해 이를 검증하였다.

본 논문은 앞서 언급한 재고유지 비용과 재고이월 비용의 총합을 최소화하는 문제를 다룬 박기태 등[1]의 접근방법과 연구결과를 응용하여 이를 서비스 수준 제약하의 재고비용 최소화문제에 적용시키고자 한다. 본 논문과 직접적으로 연관된 선행연구로 선형 수요 분위수(linear demand quantile) 방법[2]을 통해 목표 서비스 수준을 만족시키는 수요선택 방안을 제안한 바 있다. 그러나 이러한 방법은 비교적 제한된 범위의 공급망 모델을 대상으로 적용가능하다는 문제점이 존재하며, 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위한 목적으로 제안되었다.

본 논문의 2장에서는 공급망에서 발생하는 총 재고비용을 최소화 시키면서 동시에 목표로 하는 서비스 수준을 만족하는 수요선택에 관한 방법론을 계층재고 정책(echelon stock policy)을 기반으로 하여 설명한다. 3장에서는 다양한 수요 분포의 형태를 정의하고 이러한 여러 가지 분포 하에서 수요선택에 영향을 주는 요인들을 효과적인 실험계획을 통해 체계적으로 분류한다. 4장에서는 다양한 실험 조건하에서의 시뮬레이션 결과를 자세히 분석하고 이를 통해서 수요선택에 영향을 주는 요인을 규명하며, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결과를 요약하고 추후 연구 분야에 대해 소개한다.

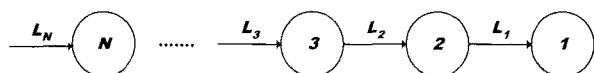
2. 문제 정의

본 연구의 대상이 되는 공급망의 구조는 <그림 2>에서와 같이 노드들이 연속적으로 이루어진 시리얼(serial) 형태를 나타낸다. <그림 2>의 N개의 노드로 구성된 시리얼 공급망에서 최하위 단계인 소매점에서부터 최상위 노드의 순서로 순차적으로 노드번호를 부여하기로 한다. 최상위 노드는 외부의 무한 용량(infinite capacity)을 갖는 공급자(supplier)로부터 제품을 공급받아 공급망 상의 하위 노드에 분배한다. 본 논문에서의 재고보충 정책으로는 주기적 재고조사(periodic review)를 이용하는 order-up-to 정책을 사용하기로 한다. 각 노드의 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 노드에 대한 재고이월 비용(backorder cost)은 B로 나타내기로 한다.

본 연구에서는 분배계획 수립의 편리함을 위해 주문 비용(ordering cost)은 고려하지 않도록 한다. 이와 같은 가정의 주된 이유는 본 연구에서와 같은 주기적 재고조사 재고보충 정책 하에서 long-run으로 보았을 경우의 평균 주문 횟수는 일정한 것으로 알려져 있기 때문이다[14]. 각각의 노드들은 서로 다른 조달시간을 가지며 이러한 조달시간은 단위 계획기간의 정수배 형태로 확정적으로 주어진다. 재고비용에서 재고이월 비용이 재고유지 비용보다 크고 재고유지 비용은 공급망 상의 하위 단계에 있는 노드일수록 상위 단계에 있는 노드들보다 상대적으로 큰 값을 갖는다고 가정한다.

본 논문에서는 분배계획과 관련된 모든 사건은 매 기간 초에 발생하고, 전체 공급망을 구성하는 모든 노드들에서 발생하는 일련의 사건들은 다음과 같은 순서로 진행되는 것으로 가정한다.

- Step 1. 계획기간 동안의 수요를 만족시키기 위한 새로운 수송 물량 결정
- Step 2. 현재 기간의 수요를 만족시키기 위한 수송물량 도착 및 물량 이동
- Step 3. 주어진 수요 분포에 따른 실수요 발생 및 수요 정보 갱신
- Step 4. 분배계획의 결과로 발생한 재고비용 계산



<그림 2> 시리얼 공급망

본 연구에서 사용 되는 기호는 다음과 같다.

<기호 정의>

- N: 노드 개수
- T: 계획기간(planning horizon)
- D_t : 기간 t 시점에서의 실제 고객 수요
- h_i : 노드 i의 재고유지 비용
- B: 최하위 노드의 재고이월 비용
- $IL_{i,t}$: 노드 i의 기간 t에서의 재고량
- CL_i : 외부의 공급자로부터 노드 i까지의 누적 조달 시간(cumulative lead-time)
- $X_{i,t}$: 노드 i의 기간 t에서의 수송 중 재고량

정의된 기호를 바탕으로 본 논문에서 고려하는 공급망을 모델링하면 다음과 같다.

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

s.t.

$$IL_{i,t} = IL_{i,t-1} + X_{i,t} - D_t,$$

$$i = 1, t = 1, 2, \dots, T + CL_i \quad (2)$$

$$IL_{i,t} = IL_{i,t-1} + X_{i,t} - X_{i-1,t+L_{i-1}},$$

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

$$IL_{i,t} \geq 0, i > 1 \quad (4)$$

$$X_{i,t} \geq 0, i = 1, 2, \dots, N, t = 1, 2, \dots, T + CL_i \quad (5)$$

분배계획은 모든 노드에서 발생하는 재고유지 비용과 재고이월 비용의 합을 최소화 시키는 것을 목적으로 한다. 제약식으로는 해당 노드에 대한 t기간의 재고량은 t-1기간의 재고량과 t기간에 새로이 도착하는 물량의 합에서 해당 노드의 t기간의 수요와 하위 노드의 요구에 의해 보내지는 물량의 합을 뺀 양과 같아야 한다는 재고균형(inventory balance) 제약, 수요가 발생하지 않는 노드의 경우 재고 이월이 발생할 수 없다는 제약, 그리고 비음수 제약식 등으로 구성되어 있다. 분배계획은 고정된 값의 적절한 기간별 수요예측(forecasting)에 근거하여 확정적(deterministic)으로 결정된다. 분배계획을 통해 결정되는 결정변수는 주어진 계획기간(planning horizon) 동안의 각 기간별, 각 노드별 수송 중 재고량(in-transit inventory)이며[4], 이를 구하는 보다 자세한 절차는 박기태 등[1]의 논문을 참조하면 된다.

수요 분포의 형태는 평균과 분산이 알려져 있는 정규 분포(normal distribution)를 따른다고 가정한다. 본

논문에서는 이러한 수요 정보를 바탕으로 생성되는 확률적인 수요분포에서 적절한 수요 값을 선택하는 방법으로 각 기간별 수요의 백분위수(percentile) 값을 정하는 방법을 사용하기로 한다. 정규분포를 나타내는 특정한 t 기간의 평균이 μ_t , 표준편차가 σ_t 일 경우 수요의 백분위수 값으로 p_t 를 선택하였을 경우 해당기간의 수요예측 값인 \hat{D}_t 은 $\hat{D}_t = \mu_t + \sigma_t \cdot z_{p_t}$ 의 형태를 통해 계산할 수 있다. 예를 들어, 평균이 100이고 표준편차가 10인 정규분포에서 수요의 백분위수 값으로 0.9를 선택하였을 경우 z_{p_t} 는 $z_{0.9} = 1.28$ 이 되고, 수요예측 값은 112.8이 된다.

본 논문에서는 수요의 백분위수 개념을 이용하여 기간별 수요예측 값을 결정하고 이를 바탕으로 분배계획을 수립하기로 하며, 다양한 기존 연구[1,2,5]를 통해 이러한 접근방법의 우수성이 입증된 바 있다. 또한 의미 있는 분배계획이 수립되기 위해서는 외부의 공급자로부터 최하위 노드까지 제품이 도착하는데 소요되는 누적 조달시간(cumulative lead-time) 이상의 기간에 해당하는 수요예측 값이 결정되어야 한다. 이 때, 필요한 백분위수의 개수는 노드 개수와 각 노드의 조달시간에 의해 결정된다. 예를 들어 현재 시점이 t 이고 $t+1$ 시점을 위한 분배계획을 수립하는 경우를 살펴보도록 하자. 만약 노드의 개수가 N 이고 누적 조달시간이 CL 기간, 즉 $L_1 + L_2 + \dots + L_N = CL$ 이라고 할 경우 결정해야 할 백분위수는 $p_{t+1}, p_{t+2}, \dots, p_{t+CL+1}$ 이며 모두 $CL+1$ 개가 된다[1].

본 연구에서 사용된 분배계획 알고리즘은 Clark and Scarf[9]가 제안한 계층재고 정책(echelon stock policy)을 활용한다. 계층재고 정책은 하위 단계의 재고량의 합에 기반 하는 재고 정책으로써 상위 단계의 재고량 결정에 있어 만약 하위 단계가 재고를 많이 가지고 있을 경우 상위 단계의 재고량을 낮추주고 반대로 하위 단계의 재고가 적을 경우 상위 단계의 재고량을 높임으로써 공급망 상의 재고를 간단한 방법을 통해 효과적으로 관리, 통제할 수 있는 기법이다[6].

본 연구에서 궁극적으로 알아내고자 하는 것은 목표로 하는 서비스 수준을 만족하면서 동시에 계획기간 동안 발생하는 공급망 전체 재고비용의 총합을 최소화할 수 있도록 하는 수요 백분위수 대안이다. 따라서 앞서 정의한 제약식 (2)-(5) 이외에 서비스 수준과 관련된 제약식이 추가로 고려되어야 한다. 본 논문에서는 서비스 수준의 형태를 재고부족이 발생하지 않을 확률(non-stockout probability)로 정의하고 이를 SL 이라고 하면, 서비스 수준 SL 은 아래와 같은 식을 통해 나타

낼 수 있다. 분배계획으로 계산되는 실제 서비스 수준 SL 은 사전에 주어지는 목표 서비스 수준 보다 큰 값을 가져야 한다.

$$I_t = \begin{cases} 1, & \text{If}(D_t \leq IL_{1,t}) \\ 0, & \text{If}(D_t > IL_{1,t}) \end{cases} \quad (6)$$

$$SL = \frac{\sum_{t=1}^T I_t}{T} \quad (7)$$

수식 (6)은 특정한 기간 t 의 서비스 수준을 지시함수(indicator function) I_t 로 표현한 것으로, I_t 는 노드 1의 현재 재고량 보다 실제 발생하는 수요가 작을 때는 1, 클 경우에는 0의 값을 갖게 된다. 서비스 수준의 척도로 본 논문에서는 수식 (7)에서와 같이 전체 계획기간 가운데 재고 부족이 일어나지 않는 기간의 비율로 정의되는 non-stockout probability[6]를 나타내는 α -type의 서비스 수준을 사용하기로 한다. 따라서 재고 부족이 일어나지 않았을 때의 횟수에 대하여 전체 실험 기간을 나누어 주면 본 논문에서 구하고자 하는 서비스 수준이 계산된다.

3. 실험계획

본 논문에서는 사전에 정의된 인자(factor)를 적절하게 조합하여 <표 1>과 같이 실험계획을 설계하였다.

인자(factor)를 구성하는 요소로는 노드 수, 조달 시간, 재고유지 비용, 재고이월 비용, 기간별 수요의 평균과 분산 등이며, 이러한 인자는 분배계획 수립시 결정되는 백분위수에 중요한 영향을 줄 것으로 예상된다. 본 논문에서는 이와 같이 인자의 수를 6, 각 인자의 수준 수를 2로 정하고 2^6 요인 배치법(factorial design)을 통해 실험계획을 설계하였다. 따라서 모든 수준의 조합에 대해 실험이 이루어져야 하므로, 하나의 백분위수 대안에 대해 64회의 실험을 실시하기로 한다.

앞서 언급한 실험계획에 의해 설계된 각각의 경우에 대해 가장 적합한 백분위수 대안이 결과로써 나타나게 된다. 이러한 백분위수 대안의 형태는 <표 2>에서 나타난 것처럼 유의한 구간 값을 갖는 범위 0.6에서 0.9 사이에서 기간별 백분위수가 일정한 값을 갖는 형태, 0.4에서 0.9 사이에서 선형적으로(linearly) 증가하는 형태, 0.9에서 0.4 사이에서 선형적으로 감소하는 형태로 각각 구분하여 모두 6가지 형태의 대안을 정의하였다.

총 64가지의 실험환경에 대해 본 논문에서는 <표 2>와 같은 대안을 선정하여 이 가운데 재고비용의 총

합이 최소가 되는 대안을 선택하는데, 이는 정해진 서비스 수준을 만족하는 백분위수 대안을 찾는 데 그 목적이 있다.

<표 1> 요인 배치법에 의한 실험계획

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

<표 2> 백분위수 대안

대안	백분위수
DP1	모든 기간에 대해 0.9로 고정
DP2	모든 기간에 대해 0.8로 고정
DP3	모든 기간에 대해 0.7로 고정
DP4	모든 기간에 대해 0.6으로 고정
DP5	0.4에서부터 0.9사이에서 선형적으로 증가하는 패턴
DP6	0.9에서부터 0.4사이에서 선형적으로 감소하는 패턴

백분위수의 대안은 노드의 개수, 조달 시간에 따라 정해야 할 개수가 정해진다. 앞서 2장에서 언급하였듯이 노드의 개수가 N 이고 누적 조달시간이 CL 기간일 경우 결정해야 할 백분위수의 개수는 $CL + 1$ 이 된다. 만약 공급망을 구성하는 노드의 수가 2이고 각 노드의 조달시간이 각각 1이라고 하면 모두 3개의 백분위수를 결정해야 한다. 따라서 DP5 대안을 사용하여 t 시점에서 백분위수를 결정할 경우 $p_{t+1} = 0.4$, $p_{t+2} = 0.65$, $p_{t+3} = 0.9$ 의 3가지 백분위수 값을 갖게 된다. 본 논문에서는 실험계획을 통해 정의된 64가지 실험환경에 대해 DP1부터 DP6까지 6가지 백분위수 대안을 독립적으로 적용하여 시뮬레이션을 수행한 후, 총 재고비용이 최소가 되면서 동시에 목표로 하는 서비스 수준을 만족하는 백분위수 대안을 찾게 된다.

본 논문에서는 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 보장하기 위하여 20회의 반복실험을 수행하며, 시뮬레이션이 안정화 될 때까지의 초기 데이터(pilot data)를 제거하

여 모든 통계적 수치를 초기화하고, 안정 상태(steady-state)에 돌입한 후 10,000회의 실수요(realized demand)가 발생할 때까지 시뮬레이션을 수행하기로 한다. 이러한 절차에 따라서 앞서 세워놓은 실험계획에 대한 모든 실험환경에서 제안된 6가지 백분위 대안들을 입력 값으로 하여 시뮬레이션을 반복적으로 수행하기로 한다.

4. 실험결과 분석

<표 3>은 서비스 수준을 고려하지 않았을 경우 총 재고 비용이 최소가 될 때의 최적 백분위수 대안을 나타낸 것이다. 이 경우 노드의 수가 많을수록 여러 백분위수 대안 가운데 감소 패턴(DP6)이 재고비용 측면에서 유리하게 나타났다. 이와 반대로 노드 수가 적을수록 백분위수를 일정한 값으로 유지하는 패턴(예: DP1, DP2) 즉, 모든 노드에 대하여 동일한 백분위수를 갖는 것이 유리하다. 조달시간의 변화가 백분위수에 미치는 영향은 노드 수가 늘어날 경우 백분위수에 미치는 영향과 유사하게 나타났다.

실험결과 가운데 수요 평균의 변화에 대해 백분위수와 총 재고비용은 민감한 반응을 보이지 않는 것을 알 수 있다. 이러한 결과의 주된 이유로는 노드에서 발생하는 비용의 경우 수요예측 값과 실제 수요(realized demand) 값의 차에 따라 재고유지 비용 또는 재고이월 비용이 발생하게 되는데, 수요의 평균이 증가하거나 감소한다고 해도 기간별 수요예측 값과 실제 수요 값의 편차는 거의 일정하기 때문에 백분위수와 총 재고비용에는 영향을 주지 못했던 것으로 판단된다. 재고이월 비용이 클수록 백분위수 대안 중 되도록 큰 백분위수를 갖는 대안을 선택하는 것이 유리하며, 반대로 재고유지 비용이 클수록 백분위수 대안 중 작은 값을 갖는 대안을 선택하는 것이 재고비용 측면에서 유리하다.

<표 3> 서비스 수준을 고려하지 않을 경우의 최적 백분위수

인자 실험	μ	σ	B	h_i	N	L_i	백분위수	
							평균 재고비용	SL
1	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	DP2	
							7.397	0.870
2	(+) (-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	DP2	
							7.397	0.872
...	
						
63	(-)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	DP5	
							873.521	0.972
64	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	DP5	
							862.682	0.970

<표 4> 목표 서비스 수준에 따른 최적 백분위수

실험 \ TSL	인자	μ	σ	B	h_i	N	L_i	백분위수	
								평균 재고비용	SL
1	-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	DP2	
								7.397	0.870
	0.8	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	DP2	
								7.397	0.870
	0.9	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	DP1	
								8.324	0.960
...
64	-	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	DP5	
								862.682	0.970
	0.8	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	DP5	
								862.682	0.970
	0.9	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	DP5	
								862.682	0.970

<표 4>는 목표 서비스 수준(target service level; TSL)이 90% 이상을 만족할 때와 목표 서비스 수준이 80% 이상을 만족할 때, 마지막으로 서비스 수준을 고려하지 않았을 때의 최적 백분위수를 각각 나타낸다.

주요한 특징으로, 만약 재고유지 비용이 늘어나면 전체 재고비용을 최소화 시키는 백분위수 대안의 서비스 수준이 나머지 다른 대안들의 서비스 수준에 비하여 다소 낮은 결과를 가져온다. 이는 재고유지 비용이 높기 때문에 각 노드는 가능하면 적은 양의 재고를 보유하고자 함으로써 재고비용 측면에서는 유리할 것이다. 반면에 낮은 재고 수준으로 인해 서비스 수준은 다른 대안에 비해 상대적으로 낮게 나타나게 되며, 이로 인해 주어진 서비스 수준을 만족시키지 못하는 경우가 발생하기도 한다. 따라서 목표로 하는 서비스 수준이 높아지면 재고비용만 고려하였을 경우의 최적 백분위수 대안보다 높은 백분위수의 대안을 선택하게 되는 경우가 빈번하게 발생하게 된다.

5. 결론

본 논문에서는 공급망 분배계획을 수립함에 있어서 주어진 서비스 수준에 따른 효과적인 수요 예측 값을 알아보기 위하여 적절한 백분위수 대안을 정의하였다.

또한, 효과적인 실험계획을 통해 서비스 수준에 따른 백분위수 대안을 제시하였고, 백분위수 선택에 영향을 주는 6가지 인자(노드 수, 조달 시간, 재고유지 비용, 재고이월 비용, 기간별 수요의 평균과 분산)에 따른 실험결과를 제시하고 이를 자세히 분석하였다.

실험결과 6가지 인자 가운데 재고유지 비용의 경우

백분위수 선택에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 노드 수와 조달 시간은 공급망의 누적 조달시간과 이로 인해 결정해야 하는 백분위수의 수에 직접적으로 관련된 인자이기 때문에 서로 유사한 결과를 나타내었다. 재고비용의 경우 재고이월 비용이 클수록 백분위수 대안 중 큰 백분위수를 갖는 대안을 선택하는 것이 유리하며, 반대로 재고유지 비용이 클수록 백분위수 대안 중 작은 백분위수를 갖는 대안을 선택하는 것이 재고비용 측면에서는 유리하였으나, 목표로 하는 서비스 수준이 높을 경우 서비스 수준 제약을 만족시키지 못하는 경우가 많이 발생하기 때문에 재고비용만을 고려하였을 경우의 최적 백분위수 대안보다 상대적으로 큰 백분위수의 대안이 선택되는 경우가 많았다.

추후 연구로 본 연구를 보다 다양한 실험환경에 적용하여 각 인자들 간에 존재하는 상관관계를 보다 체계적으로 분석하고자 한다. 또한 보다 정형화된 기법을 통해 최적의 백분위수를 효율적으로 탐색하는 휴리스틱 알고리즘을 개발할 필요가 있다. 이와 함께 불안정한 고객 수요(non-stationary customer demand)와 같은 보다 복잡한 수요 분포의 형태를 반영하여 최적 백분위수를 찾아내는 절차에 대한 연구가 이루어져야 한다. 부가적으로, 현실적인 공급망 구조를 반영하기 위해 트리형태(arborescent)의 일반적인 공급망에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

6. 참고 문헌

- [1] 박기태, 권익현, 김성식, “시뮬레이션을 통한 공급사슬내의 효과적인 수요 선택 방안에 관한 연구”, 한국SCM학회지, 4권, 1호 (2004) : pp. 61-69.
- [2] 박기태, 권익현, 김성식, “서비스 수준 제약하의 공급망 분배계획을 위한 수요선택 방안에 관한 연구”, 한국시뮬레이션학회 논문지, 15권, 3호 (2006) : pp. 39-47.
- [3] 박창규, “공급사슬 내의 재고관리를 위한 모의 실험에 기초한 발견적 기법”, IE Interfaces, 13권, 3호 (2000) : pp. 424-430.
- [4] 안재성, 권익현, 김성식, “Rolling horizon 환경하에서 다단계 재고 모형의 분배계획 수립에 관한 연구”, IE Interfaces, Vol.16, No.4 (2003) : pp. 441-449.
- [5] 윤병희, 권익현, 김성식, “예측 수요분포가 변하는 환경 하에서의 공급사슬 계획”, 한국SCM학회지, 4권, 2호 (2004) : pp. 1-12.
- [6] Axsater, S., Inventory Control, Springer (2006).
- [7] Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K. and Simchi-Levi, D., “Quantifying the bullwhip effect in a simple

supply chain : The impact of forecasting, lead times, and information”, Management Science, Vol.46, No.3 (2000) : pp. 436-443.

[8] Chopra, S. and Meindl, P., Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation, Prentice-Hall (2006).

[9] Clark, A.J. and Scarf, H., “Optimal policies for a multi-echelon inventory problem”, Management Science, Vol.6, No.4 (1960) : pp. 475-490.

[10] 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) : pp. 241-263.

[11] Forrester, J.W., Industrial Dynamics, MIT Press (1961).

[12] Kwon, I.H., Kim, S.S. and Bæk, J.G., “A simulation based heuristic for serial inventory systems under fill-rate constraints”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.31, Nos.3-4 (2006) : pp. 297-304.

[13] Kwon, I.H., Kim, C.O., Jun, J. and Lee, J.H., “Case-based myopic reinforcement learning for satisfying target service level in supply chain”, Expert Systems with Applications, Vol.35, Nos.1-2 (2008) : pp. 389-397.

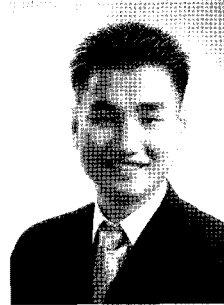
[14] Shang, K.H. and Song, J.S., “Newsvendor bounds and heuristic for optimal policies in serial supply chains”, Management Science, Vol.49, No.5 (2003) : pp. 618-638.

[15] Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. and Simchi-Levi, E., Designing and Managing the Supply Chain, McGraw-Hill (2007).

[16] 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).

저 자 소 개

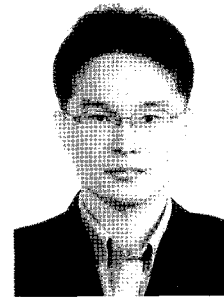
박 기 태



명지대학교 산업공학과에서 공학사, 고려대학교 산업시스템정보공학과에서 공학석사 학위를 각각 취득하였으며, 현재 LG 디스플레이에 재직 중에 있다. 주요 관심분야는 SCM, 생산관리 등이다.

주소: 경기도 파주시 월롱면 덕은리 LG 디스플레이 ERP 2팀

권 익 현



고려대학교 산업공학과에서 학사, 석사, 박사학위를 취득하였으며, 고려대학교 정보통신기술연구소 연구조교수와 미국 일리노이주립대학교 박사후 과정을 거쳐 현재 인제대학교 시스템경영공학과 전임강사로 재직 중에 있다. 주요 관심분야는 물류 및 공급망관리, 생산계획 및 통제, 서비스경영, e-Business 등이다.

주소: 경남 김해시 어방동 인제대학교 시스템경영공학과