

공급사슬 내의 재고관리를 위한 모의실험에 기초한 발견적 기법: 봉사척도 관점†

박창규

울산대학교 경영학부

A Simulation-based Heuristic Algorithm for Determining a Periodic Order Policy at the Supply Chain: A Service Measure Perspective

Chang-Kyu Park

Supply chain management (SCM) is an area that has recently received a great deal of attention in the business community. While SCM is relatively new, the idea of coordinated planning is not. During the last decades, many researchers have investigated multi-stage inventory problems. However, only a few papers address the problem of cost-optimal coordination of multi-stage inventory control with respect to service measures. Even published approaches have a shortcoming in dealing with a delivery lead time consisted of a shipping time and a waiting time. Assumed that there is no waiting time, or that the delivery lead time is implicitly compounded of a shipping time and a waiting time, the problem is often simplified into a multi-stage buffer allocation and a single-stage stochastic buffer sizing problem at all installations. This paper presents a simulation-based heuristic algorithm and a comparison with others for the problem that cannot be decomposed into a multi-stage buffer allocation and a single-stage stochastic buffer sizing problem because the waiting time ties together all stages. The comparison shows that the simulation-based heuristic algorithm performs better than other approaches in saving average inventory cost for both Poisson and Normal demands.

1. 서론

과거에 기업들은 기업내부에 한정된 의사결정들을 효과적으로 수립하기 위하여 노력하였다. 이러한 경우에 구매, 제조, 조립, 저장 및 분배 등과 같은 기업의 다양한 기능들이 다량의 재고를 그들 사이에 완충제로 작용하도록 비축하면서 기능적으로 독립하였다. 또한, 이러한 방법으로 각 기능들이 독립함으로써 의사결정의 복잡성을 줄였다. 그러나 각 기능들간의 의존성을 무시한 의사결정은 아주 비싼 대가를 지불해야 할 위험성이 높았다. 이러한 위험성은 시장이 글로벌화 되면서 더욱 명백해지기 시작했다. 결국, 기업은 과거의 관행에서 벗어나 기능들을 통합 관리함으로써 저렴한 가격으로 높은 수준의 서비스를 고객에게 제공하기 위한 노력을 경주하기 시작했다

(Ganeshan, 1999; Thomas & Griffin, 1996).

이러한 시대적 요구에 맞추어 나타난 것이 공급사슬경영이다. 공급사슬경영은 자재공급업자, 제조 및 조립업자, 그리고 분배업자 등을 총망라한 네트워크 상에서 자재와 정보의 흐름을 총괄적으로 관리하자는 개념이다(Thomas & Griffin, 1996). 공급사슬경영이란 용어는 비교적 새로이 나타난 것이나 그 근간에 깔려 있는 통합된 의사결정에 관한 개념은 새로운 것이 아니다. 지난 수십년 동안 공급사슬내의 재고문제는 상당한 주목을 받아왔다. 할인비용구조의 동적계획법을 이용하여 확률적 수요를 갖는 다단계 직렬구조에 대한 Clark과 Scarf(1960)의 연구가 발표된 이후로, 다단계 직렬구조뿐만 아니라 다단계 분열구조 및 다단계 수렴구조로까지 연구가 확장되어 왔다. 여기서 다단계 직렬구조는 모든 자재저장소가 하나의 전단계 저장소와 하나의 다음단계 저장소를 갖는 구조를 말하며, 다

† 이 논문은 2000년 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.

단계 분열구조는 특정 자재저장소가 하나의 전단계 저장소를 갖지만 여러 개의 다음단계 저장소를 가질 수 있는 구조를 말하고, 다단계 수렴구조는 다단계 분열구조를 뒤집어 놓은 형태이다(Inderfurth & Minner, 1998; Zijm & van Houtum, 1994).

이처럼 다양한 구조를 갖는 공급사슬내의 재고문제에 대해 많은 연구가 진행되었지만, 최종고객에 대한 봉사수준 관점에서 공급사슬내의 전체재고비용을 최적화시키려는 연구는 아주 드문 실정이다. 거의 대부분의 연구들이 echelon재고에 기초한 발주정책을 이용하여 통합된 재고통제규칙을 개발하려는데 국한되어 있다(Inderfurth & Minner, 1998). 비록 주문비용과 유지비용 그리고 품질비용 간의 절충을 모색하는 전통적인 접근방법이 봉사수준을 이용하는 접근방법보다 이론적으로 우수하지만, 현장에서는 품질비용에 대한 정확한 산정이 어려워서(불가능하지는 않지만) 봉사척도가 운영상 대체척도로 이용되는 경우가 흔하다(Inderfurth & Minner, 1998; Rosenbaum, 1981; Schneider, 1981; van Houtum, et al., 1996).

Inderfurth와 Minner(1998)는 정규분포의 수요를 갖는 공급사슬에서 정기발주정책을 이용하여 안전재고를 결정하는 문제를 다루었다. 모든 자재저장소가 주어진 봉사수준을 만족시키며 내부적 자재조달 지연은 발생하지 않는다고 가정하여, 안전재고 결정문제를 다단계 버퍼할당 및 단일단계 버퍼크기결정 형태로 분리시켜 단순화 하였으며, 주어진 봉사수준을 만족시키는 다단계 안전재고수준을 재고유지비용 차원에서 최적화시켰다. 또한, van Houtum, et al.(1996)도 안정상태의 정기발주 다단계 재고시스템에 관심을 기울였다. 그들은 N -단계 직렬구조를 갖는 공급사슬에서 주어진 봉사수준을 만족시키면서 평균재고유지비용이 최소가 되도록 하는 발주정책(S_1, S_2, \dots, S_N)을 제시하였으며, 자재저장소 n 의 적정발주수준 S_n 을 $n=1$ 부터 순차·반복적으로 구하였다. 한편, Lagodimos(1993)는 MRP(자재소요계획)하에 운영되는 직렬 및 조립생산 공급사슬 상에서 얻을 수 있는 고객에 대한 봉사수준을 평가하는 문제에 대하여 연구하였다.

다단계 분열구조를 갖는 공급사슬내의 재고문제에 대한 연구로서, Diks, et al.(1996)은 봉사척도 관점에서 공급사슬내의 재고문제에 대한 전반적인 고찰을 제시하였다. 특히, 이들은 봉사척도를 사용할 경우 필요한 정보를 제공하기 위하여 공급사슬을 형성하는 요소들간의 상호작용에 초점을 두었다. 한편, de Kok(1990), Lagodimos(1992), Rosenbaum(1981), 그리고 Verrijdt와 de Kok(1996) 등도 봉사척도 관점에서 다단계 분열구조를 갖는 공급사슬내의 재고문제에 대한 연구를 발표하였다.

이상의 기존 연구들은 자재조달시간을 다루는 데에 결점이 발견되고 있다. 만일 충분한 양의 자재가 상위 자재저장소에 비축되어 있다면 특정 주문에 대한 자재조달시간은 정해진 자재운반시간(확률적으로 변할 수도 있지만 본 논문에서는 상수로 가정)이 될 것이지만, 충분한 양의 자재가 상위 자재저장소에 비축되어 있지 않을 경우, 주문은 충분한 양의 자재가 상위 자재저장소에 다시 채워질 때까지 기다려야 할 것이고, 따라

서 그 주문에 대한 자재조달시간은 정해진 자재운반시간에 대기시간이 더해질 것이다. 하지만 기존의 연구들은 대기시간이 없는 것으로 가정하거나 자재조달시간이 정해진 운반시간과 대기시간을 암묵적으로 포함한다고 가정하여 문제를 다단계 버퍼할당 및 단일단계 버퍼크기결정 형태로 단순화시켰다.

본 논문은 다양한 형태를 갖는 공급사슬내의 재고문제를 다루고자 할 때 기초지식을 얻을 수 있는 다단계 직렬구조를 대상으로 다양한 봉사척도 관점에서 확률적 수요를 갖는 공급사슬의 정기발주정책에 초점을 맞추며, 운반시간 L_n 과 대기시간 w_n 으로 구성된 자재조달시간으로 인하여 문제를 다단계 버퍼할당 및 단일단계 버퍼크기결정 형태로 단순화할 수 없는 경우에 대해 모의실험에 기초한 발견적 기법을 제시한다. 우선, 다음 절에서 N -단계 직렬구조를 갖는 공급사슬내의 재고문제에 대한 분석과 본 논문에서 다룰 문제에 대한 정의를 제시하고, 이어서 모의실험에 기초한 발견적 기법을 제3절에서 제시한다. 다른 접근방법과의 비교는 제4절에서 제시하고, 끝으로 제5절에서 결론을 제시하면서 본 논문을 맺는다.

2. 모형 및 문제정의

<그림1>은 본 논문에서 고려하는 N -단계 직렬구조를 갖는 공급사슬($N \geq 2$)을 보여준다. 자재나 부품에 대한 주문은 자재저장소 N 앞에 위치한 외부공급자에게 발주된다. 외부공급자는 항상 일정한 운반시간 L_N 에 발주된 자재량을 공급할 수 있고, 고객수요는 공급사슬의 마지막 단계인 자재저장소1에서만 이루어진다고 가정한다. 또한, 문제를 단순화하기 위해서 단일자재를 고려한다.

각 자재저장소 n 은 정기발주정책(S_n, T_n)에 따라 다음의 상위 자재저장소($n+1$)로 자재나 부품을 주문하고, 또한 자재나 부품을 다음의 하위 자재저장소($n-1$)로 운송한다. 여기서 자재 사용률은 1로 가정한다. 자재저장소 n 은 T_n 단위의 시간마다 현 보유재고를 검토하고, 재고량(보유재고와 미납된 재고의 합)을 S_n 수준으로 올리도록 주문한다. T_n 에 주문한 자재는 주문 후 $L_n + w_n$ 시간이 지난 후에 도착하며, 만일 상위 자재저장소($n+1$)에 충분한 자재가 있다면 대기시간 w_n 은 0이 된다. 그리고 초과된 수요는 미납으로 처리되어 늦게라도 조달되는 것으로 가정한다.

봉사수준은 오직 최종고객에 대한 것만을 고려한다. van Houtum, et al.(1996)이 주장하듯이, 공급사슬경영에서 최소비

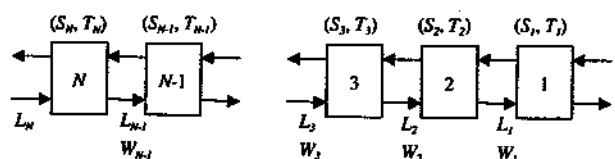


그림 1. N -단계 직렬구조 공급사슬.

용으로 최종고객에 대한 주어진 봉사수준이 만족되는 한, 내 부고객에 대한 봉사수준은 별다른 의미를 갖지 않는다고 볼 수 있다. 따라서 본 논문은 최종고객에 대한 봉사수준을 만족시키면서 전체 공급사슬내의 평균재고비용을 최소로 하는 발주정책 (S_1, S_2, \dots, S_N) (T_n 은 주어진 것으로 가정)을 결정하는데 초점을 맞춘다.

동일한 시간간격 T 에서 고객수요 $r(T)$ 는 독립적이며 동일한 분포(확률밀도함수 $\phi(r|T)$, 누적밀도함수 $\Phi(r|T)$, $E[r(T)] = \mu(T)$, $Var[r(T)] = \sigma^2(T)$)를 따른다고 가정하고, 재고는 두 종류로 구분한다. 즉, 자체저장소 n 에서 다음 저장소 $(n-1)$ 로 운반 중인 자체와 자체저장소 n 이 보유중인 자체. 우선, 자체저장소 n 에서 다음 저장소 $(n-1)$ 로 운반중인 자체의 평균 재고수준은 운반시간 L_{n-1} 을 상수로 가정하였으므로 다음과 같이 구해진다.

$$\frac{\mu(T_{n-1})L_{n-1}}{T_{n-1}} \quad (1)$$

즉, 단위시간당 평균수요($\mu(T_{n-1})/T_{n-1}$)에 운반시간(L_{n-1})을 곱한 것이다.

다음으로 재고검토 기간 동안 자체저장소 $n(n \neq N)$ 에 보유 중인 자체의 평균재고수준은 기초재고수준과 기말재고수준을 평균하여 구할 수 있다. 자체에 대한 주문을 발주한 직후, 자체저장소 n 의 재고수준은 S_n 에 도달할 것이고, 그 후 주문한 자체가 도착할 때($L_n + E[W_n] < T_n$ 이라 가정), 자체저장소 n 에서의 재고수준은 다음과 같다.

$$S_n - \frac{\mu(T_{n-1})(L_n + E[W_n])}{T_{n-1}} \quad (2)$$

즉, 자체에 대한 주문을 발주한 직후의 재고수준 S_n 에서 자체가 도착할 동안의 평균수요(단위시간당 평균수요($\mu(T_{n-1})/T_{n-1}$)* 자체가 도착할 때까지의 평균시간($L_n + E[W_n]$)을 뺀 값이다. 여기서 본 논문은 안정상태에 있는 공급사슬을 다루므로 대기시간 W_n 의 기대치를 사용한다. 그리고 다음주문에 대한 자체가 도착하기 직전에 자체저장소 n 의 재고수준은 다음과 같다.

$$S_n - \frac{\mu(T_{n-1})(L_n + E[W_n])}{T_{n-1}} - \frac{\mu(T_{n-1})T_n}{T_{n-1}} \quad (3)$$

즉, 식 (2)의 재고수준에서 재고검토 기간 동안의 평균수요(단위시간당 평균수요($\mu(T_{n-1})/T_{n-1}$)* 재고검토 기간(T_n))를 뺀 값이다. 따라서 자체저장소 n 의 평균재고수준은 식 (2)와 식 (3)을 더하여 2로 나누면 아래와 같다.

$$S_n - \frac{\mu(T_{n-1})(L_n + E[W_n])}{T_{n-1}} - \frac{\mu(T_{n-1})T_n}{2T_{n-1}} \quad (4)$$

문제를 간단히 하기 위해서 $T=1$ 이라 하면, 단위시간당 고

객수요 r 은 독립적이고, 확률밀도함수 $\phi(r)$, 누적밀도함수 $\Phi(r)$ 및 $E[r] = \mu$, $Var[r] = \sigma^2$ 을 가지는 동일한 분포를 따른다고 할 수 있다. 그리고 자체저장소 n 에서의 평균재고수준은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_n - \mu L_n - \mu E[W_n] - \frac{\mu T_n}{2} \quad (5)$$

자체저장소 N 앞에 위치한 외부공급자는 항상 일정한 운반시간 L_N (즉, $E[W_N]=0$)에 충분한 자체를 공급할 수 있다고 가정하였으므로 각 자체저장소에서의 평균재고수준 AIL_n 은 다음과 같다.

$$AIL_n = \begin{cases} S_n - \mu L_n - \mu E[W_n] - \frac{\mu T_n}{2} & n=1, 2, 3, \dots, N-1 \\ S_n - \mu L_n - \frac{\mu T_n}{2} & n=N \end{cases} \quad (6)$$

비용측면에서는 자체저장소 n 에 보유중인 자체와 자체저장소 n 에서 다음 저장소 $(n-1)$ 로 운반인 자체에 대해 재고유지비용 h_n 을 적용하고 주문비용은 생략한다. 왜냐하면, Zijm, et al.(1994)도 언급하였듯이, 평균재고비용함수를 사용하고 모든 초과수요는 미납으로 처리되어 늦게라고 조달될 경우, 선형적 가변주문비용은 재고통제정책에 아무런 영향을 주지 않기 때문이다. 따라서 전체 공급사슬내의 평균재고비용은 다음과 같다.

$$h_1 AIL_1 + \sum_{n=2}^N h_n (AIL_n + \mu L_{n-1}) \quad (7)$$

여기서 자체저장소 N 앞과 자체저장소 1 후의 운반중인 재고는 공급사슬 밖의 것으로 간주한다.

봉사척도로 본 논문은 Schneider(1981)가 제시한 세 가지를 고려하며, 이들 봉사척도들은 자체부족 발생빈도, 크기, 혹은 자체부족의 크기 및 기간 등을 나타낸다. Schneider(1981)는 이들을 각각 α , β , γ 봉사수준이라고 지칭하였다. α 봉사수준은 임의의 시간에서 재고부족이 발생하지 않을 확률이고, β 봉사수준은 전체수요 중 미납주문으로 처리되지 않고 즉시 재고로부터 충족되는 수요의 양을 말하며, γ 봉사수준은 1에서 주문이 재보충되기 전에 발생한 평균자체부족량과 임의의 재고검토 기간중에 발생한 평균수요량의 비율을 뺀 것이다(Diks, et al., 1996).

각각의 봉사수준은 다음과 같은 방정식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \alpha &= \Phi(S_1 | T_1 + L_1 + E[W_1]) \\ \beta &= 1 - \frac{1}{\mu} \left\{ \sum_{r=S_1}^{\infty} (r-S_1)\phi(r | T_1 + L_1 + E[W_1]) \right. \\ &\quad \left. - \sum_{r=S_1}^{\infty} (r-S_1)\phi(r | L_1 + L_1 + E[W_1]) \right\} \\ \gamma &= 1 - \frac{1}{\mu} \sum_{r=S_1}^{\infty} (r-S_1)\phi(r | T_1 + L_1 + E[W_1]) \end{aligned} \quad (8)$$

결국, 본 논문에서 고려중인 문제는 각각의 봉사수준(즉, SL_{α} , SL_B 및 SL_Y)에 대해 다음과 같이 묘사할 수 있다.

$$\text{Minimize } \sum_{n=1}^{N-1} h_n(S_n - \mu E[W_n]) + h_N S_N$$

(S_1, S_2, \dots, S_N)

제약식

$$\Phi(S_1 | T_1 + L_1 + E[W_1]) \geq SL_{\alpha}$$

혹은

$$1 - \frac{1}{\mu} \left\{ \sum_{r=S_1}^{\infty} (r-S_1)\phi(r | T_1 + L_1 + E[W_1]) - \sum_{r=S_1}^{\infty} (r-S_1)\phi(r | L_1 + L_1 + E[W_1]) \right\} \geq SL_B$$

혹은

$$1 - \frac{1}{\mu} \sum_{r=S_1}^{\infty} (r-S_1)\phi(r | T_1 + L_1 + E[W_1]) \geq SL_Y$$

여기서 상수항들은(즉, μL_n , $\mu T_n/2$, $n=1, 2, \dots, N$) 문제의 해에 영향을 주지 않기 때문에 목적함수에서 제외시켰다.

3. 모의실험에 기초한 발견적 기법

얼핏 보면, 축차적 방법(예를 들면, 동적계획법)으로 이 문제를 풀 수 있을 것처럼 느껴진다. 대기시간 W_n 을 무시할 수 있다면, Inderfurth와 Minner(1998), van Houtum, et al.(1996), 그리고 Zijm과 van Houtum(1994) 등이 그랬듯이, 이 문제를 다단계 버퍼할당 및 단일단계 버퍼하기결정 형태로 단순화하여 풀 수 있다. 그러나 대기시간 W_n 이 모든 단계를 결합하므로, 이 문제를 다단계 버퍼할당 및 단일단계 버퍼하기결정 형태로 분리하여 풀 수가 없다. 이 문제의 어려움은 대기시간 W_n 의 분포에 의하여 기인되고, 이론적으로 대기시간 W_n 의 분포를 유도하기란 그렇게 간단한 일이 아니다. 최근까지 공급사슬내의 재고문제는 단계의 수가 서너 개만 넘더라도 수리적으로 추적하기가 아주 힘든 문제로 알려져 있다(van Houtum et al., 1996).

본 논문은 이 문제를 분석한 후 모의실험에 기초한 발견적 기법을 제시한다. 우선, 주문수준 S_n 과 대기시간 평균치 $E[W_{n-1}]$ 가 서로 역으로 작용하고 있다는 것을 모의실험을 통하여 알 수가 있었다. 즉, 주문수준 S_n 을 감소시키면 자재저장소 n 의 보유 재고수준이 감소하게 되고, 결국 자재저장소 $(n-1)$ 로부터 발주된 주문의 평균대기시간 $E[W_{n-1}]$ 이 증가하게 된다. 문제의 목적함수를 살펴보면, S_n 의 값들이 작으면 작을수록(결과적으로 $E[W_{n-1}]$ 의 값들이 높아짐) 목적함수의 값은 최소화된다. 하지만 최종고객에 대한 봉사수준은 주어진 값을 유지해야 하므로, 이 제약식을 만족시키면서 목적함수의

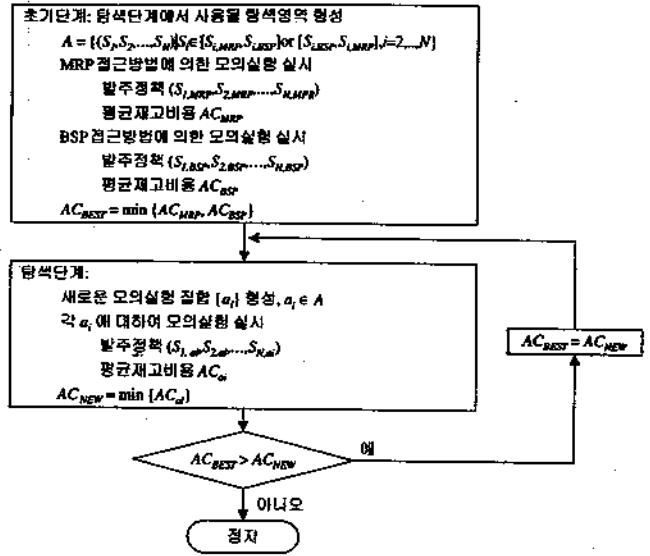


그림 2. 발견적 기법의 절차.

값을 최소로 할 수 있는 S_n 들의 수준에 대한 통합된 조정이 필요하다.

<그림 2>는 본 논문에서 제시하는 모의실험에 기초한 발견적 기법의 절차를 보여주고 있으며, 이 발견적 기법은 초기단계와 탐색단계로 구성되어 있다. 초기단계에서는 탐색단계에서 사용할 탐색영역을 형성한다. 탐색영역을 A라고 하면 A는 다음과 같이 정의된다.

$$A = \{(S_1, S_2, \dots, S_N) | S_i \in [S_{i,MRP}, S_{i,BSP}] \text{ or } [S_{i,BSP}, S_{i,MRP}], i=2, \dots, N\}$$

여기서 각 자재저장소 n 에서의 주문수준 S_n 의 범위는 Orlick(1975)가 제시한 MRP접근방법과 van Houtum, et al.(1996) 그리고 Zijm과 van Houtum(1994)이 제시한 BSP(basic stock policy) 접근방법에 의한 모의실험으로 결정된다.

Orlick(1975)가 제시한 MRP접근방법은 최종고객에 가까운 자재저장소에 모든 안전재고를 보관하도록 주장한다. 따라서 MRP접근방법에 의한 모의실험은 $S_{n,MRP}$ ($n \geq 2$)을 0으로 놓고(여기서 0의 의미는 모든 주문이 미납된다는 것이다) $S_{1,MRP}$ 의 값을 변화시키면서 최종고객에 대한 주어진 봉사수준을 만족시키는 발주정책($S_{1,MRP}, S_{2,MRP}, \dots, S_{N,MRP}$)을 찾고, 이 때의 전체 공급사슬내의 평균재고비용 AC_{MRP} 를 계산한다.

van Houtum, et al.(1996) 그리고 Zijm과 van Houtum(1994)이 제시한 BSP접근방법은 최종고객에 대한 주어진 봉사수준을 만족시키면서 평균재고비용이 최소가 되도록 하는 발주정책($S_{1,BSP}, S_{2,BSP}, \dots, S_{N,BSP}$)을 $n=1$ 부터 순차반복적으로 구한다. 따라서 BSP접근방법에 의한 모의실험은 우선 최종고객에 대한 주어진 봉사수준을 만족시키는 $S_{1,BSP}$ 의 수준을 모의실험을 통하여 찾은 다음, 다시 이 봉사수준을 만족시키는 발주정책($S_{1,BSP}, S_{2,BSP}$)에 대한 $S_{2,BSP}$ 의 수준을 모의실험을 통하여 찾는다. 이런 식으로 계속하여 모든 $S_{n,BSP}$ 의 값을 모의실험을 통하여 찾는다. 그리고 전체 공급사슬내의 평균재고비용 AC_{BSP} 를 계산한다.

마지막으로 MRP접근방법에 의한 모의실험과 BSP접근방법에 의한 모의실험을 통하여 얻어진 발주정책 중에 전체 공급사슬내의 평균재고비용이 적은 것을 AC_{BEST} 에 할당하고 탐색단계로 넘어간다.

탐색단계는 초기단계에서 형성한 탐색영역 내에서 전체 공급사슬내의 평균재고비용을 최소로 하는 발주정책을 찾는다. 전체 공급사슬내의 평균재고비용을 최소로 하는 발주정책을 찾기 위하여 탐색단계는 우선 모의실험에 사용할 새로운 모의실험 집합을 구성한다. 이 새로운 모의실험 집합은 탐색영역 내에 있는 발주정책들의 조합으로 S_1 을 제외한 $S_n(n \geq 2)$ 의 값들이 우선 할당된다(예를 들면, 100, 200 등). 초기에는 보다 넓은 탐색영역을 조사하기 위하여 $S_n(n \geq 2)$ 에 넓은 영역의 값들이 할당되고, 절차가 반복진행됨에 따라 선택된 좁은 탐색영역을 좀더 면밀히 조사하기 위하여 $S_n(n \geq 2)$ 에 좁은 영역의 값들이 할당된다.

새로운 모의실험 집합으로 모의실험을 실시하여 최종고객에 대한 주어진 봉사수준을 만족시키는 S_1 의 수준들을 찾고, 계산된 전체 공급사슬내의 평균재고비용들 중에서 최소값을 AC_{NEW} 에 저장한다. AC_{BEST} 의 값이 AC_{NEW} 의 값 보다 크면 탐색절차를 계속하여 수행하고, 그렇지 않을 경우 발견적 기법을 중지한다.

본 발견적 기법의 이해를 돕기 위하여 <그림3>과 같은 4단계 직렬구조를 갖는 공급사슬에 대한 예제를 보여준다. 모의실험에 대한 구체적인 내용은 제4절에서 자세히 설명하고, 이 절에서는 고객수요가 포아송분포(평균 = 5)를 따르고, 95%의 고객에 대한 봉사수준(α 봉사수준)을 만족시켜야 할 경우에 발견적 기법이 어떻게 적용되는지에 대해 설명한다.

<표1>은 본 예제의 결과를 보여주고 있다. 발견적 기법의 첫 단계인 초기단계에서는 MRP접근방법에 의한 모의실험과 BSP접근방법에 의한 모의실험으로 탐색영역을 찾아낸다. 즉,

$$A = \{(S_1, S_2, \dots, S_4) | S_2[0, 116], S_3[0, 158], S_4[0, 242]\}$$

이 때, AC_{BEST} 의 값은 4394.56이다. 다음 탐색단계에서는 우선 넓은 탐색영역을 조사할 새로운 모의실험 집합을 구성하기 위하여 S_2 와 S_3 에 2수준(0과 100), 그리고 S_4 에는 3수준(0, 100 및 200)을 할당한다. 이들 집합에 대한 모의실험을 실시하여 S_1 의 수준과 전체 공급사슬내의 평균재고비용을 계산한다. 첫 탐색단계에서는 발주정책(93, 0, 100, 0)이 평균재고비용을 최소로 함을 알 수 있고($AC_{NEW} = 3887.80$), 또한 $AC_{BEST} > AC_{NEW}$

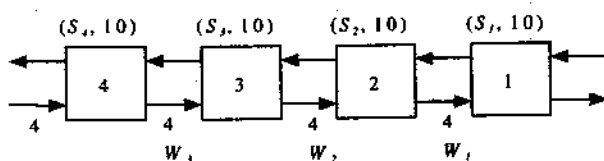


그림 3. 4단계 직렬구조 공급사슬.

표 1. 발견적 기법에 의한 결과

단 계	주문수준				평균 재고비용
	S_1	S_2	S_3	S_4	
초기단계	72	116	158	242	11458.21
	170	0	0	0	4394.56
탐색단계 1	78	100	100	200	9665.47
	222	0	100	200	9363.12
	111	100	0	200	7179.56
	201	0	0	200	6436.50
	132	100	100	100	9260.66
	270	0	100	100	9002.35
	130	100	0	100	7196.72
	257	0	0	100	7154.29
	98	100	100	0	7668.733
	93	0	100	0	3887.80
127	100	0	0	6480.26	
탐색단계 2	93	0	110	0	4087.80
	93	0	90	0	3687.80
	97	0	80	0	3547.74
탐색단계 3	119	0	70	0	3843.36
	97	0	79	0	3532.65
101	0	78	0	3594.31	

이제 좀더 좁은 탐색영역을 조사해 볼 필요성이 있다. <표 1>에서 다음 탐색단계2와 3을 보여준다. 이 예제에서는 발주정책 (97, 0, 79, 0)이 전체 공급사슬내의 평균재고비용 3532.65로 최선임을 보여준다.

4. 비교 및 토론

이 절에서는 본 논문에서 제시한 발견적 기법을 van Houtum, et al.(1996) 그리고 Zijm과 van Houtum(1994)이 제시한 BSP접근방법 및 Orlicky(1975)가 주장한 MRP접근방법과 비교하기 위하여 제3절에서 보여준 4단계 직렬구조를 갖는 공급사슬에 대하여 모의실험을 수행한 결과를 제시한다. 비교를 간단히 하기 위하여 모든 재고검토기간 T_r 에 10을 할당하고, 모든 운반시간 L_n 에는 4를 할당하였다. 여기서 10과 4는 임의로 뽑은 값이다. 재고유지비용에 대해서는 하위 자재저장소로 갈수록 자재에 가치가 부가되어 재고유지비용이 높을 것이라는 Inderfurth와 Minner(1998)의 주장을 받아 들여, $h_1 = 40, h_2 = 30, h_3 = 20$, 그리고 $h_4 = 10$ 을 할당하였다. 단위기간당 고객수요 r 은 독립적이고 포아송분포($E[r] = 5$)와 정규분포($E[r] = 10, Var[r] = 3^2$)를 따른다고 가정하고, 봉사수준이 90%와 95%인 경우에 각 봉사척도에 대하여 모의실험을 실시하였다.

모의실험 상황은 다음과 같다.

- (1) 보유재고로부터 즉시 충족되지 않은 수요는 미납으로 처리되어 늦게라도 조달된다.
- (2) 각 자재저장소에 대한 용량 제한은 없다.
- (3) 자재조달시간은 상수의 운반시간 L_n 과 가변의 대기시간

W_n 의 합이다.

- (4) 주문은 분리될 수 없다. 즉, 주문에 대한 부분적인 조달은 허용하지 않는다.
- (5) 주문은 선착순으로 처리된다.

최종고객에 대한 봉사수준은 다음과 같이 측정하였다.

$$\alpha = 1 - \frac{\text{자재부족기간}}{\text{모의실험기간}}$$

$$\beta = 1 - \frac{\text{단위기간당 미납된 평균수요}}{\text{단위기간당 평균수요}}$$

$$\gamma = 1 - \frac{\text{단위기간당 미납된 누적평균수요}}{\text{단위기간당 평균수요}}$$

포아송수요와 정규수요에 대하여 발견적 기법을 BSP접근방법 및 MRP접근방법과 비교한 결과를 <표2>와 <표3>에서 각각 보여주고 있으며, 평균재고비용을 최소화하는 관점에서 어느 경우에도 발견적 기법이 다른 접근방법보다 우수함을 알 수 있다. 최종고객에 대한 주어진 봉사수준을 만족시키기 위해서 BSP접근방법은 상위 자재저장소에 재고수준을 증가시키는 경향을 보이고, MRP접근방법은 최종고객에게 가까운 최하위 자재저장소에 많은 양의 재고를 보유한다. 그러나 발견적 기법은 최종고객에 대한 주어진 봉사수준을 만족시키면서, 동시에 평균재고비용을 줄이기 위하여 모든 자재저장소의 재고수준을 통합조정한다.

Inderfurch와 Minner(1998)가 주장한 바와 같이, 본 비교 모의 실험 결과로부터 공급사슬에서는 여러 단계간의 상호작용을 고려해야 하고, 통합된 재고정책이 독립적으로 이루어지는 단일단계의 재고정책보다 우수함을 알 수 있다.

표 2. 포아송수요에 대한 비교

		주문수준				평균 재고비용	비용 상대비율
		S_1	S_2	S_3	S_4		
$SL_\alpha = 95\%$	BSP	72	116	158	242	11458.21	224.4%
	MRP	170	0	0	0	4394.56	24.4%
	Heuristic	97	0	79	0	3532.65	
$SL_\beta = 95\%$	BSP	73	121	158	274	12003.95	236.3%
	MRP	171	0	0	0	4432.16	24.2%
	Heuristic	98	0	79	0	3569.75	
$SL_\gamma = 95\%$	BSP	75	396	146	195	19078.64	407.5%
	MRP	182	0	0	0	4854.76	29.1%
	Heuristic	97	0	86	0	3759.40	
$SL_\alpha = 90\%$	BSP	67	121	158	276	11230.20	243.8%
	MRP	154	0	0	0	3807.08	16.5%
	Heuristic	92	0	78	0	3266.79	
$SL_\beta = 90\%$	BSP	68	121	158	276	11265.04	241.2%
	MRP	156	0	0	0	3878.52	17.5%
	Heuristic	93	0	78	0	3301.43	
$SL_\gamma = 90\%$	BSP	72	115	158	207	11723.63	228.4%
	MRP	176	0	0	0	4622.80	29.5%
	Heuristic	92	0	86	0	3570.32	

표 3. 정규수요에 대한 비교

		주문수준				평균 재고비용	비용 상대비율
		S_1	S_2	S_3	S_4		
$SL_\alpha = 95\%$	BSP	141	190	202	556	21524.78	221.1%
	MRP	340	0	0	0	8784.13	31.0%
	Heuristic	181	0	157	0	6704.07	
$SL_\beta = 95\%$	BSP	142	214	202	354	20083.75	199.6%
	MRP	341	0	0	0	8820.93	31.6%
	Heuristic	181	0	157	0	6704.10	
$SL_\gamma = 95\%$	BSP	144	214	313	682	25513.95	274.3%
	MRP	357	0	0	0	9432.53	38.4%
	Heuristic	184	0	157	0	6813.67	
$SL_\alpha = 90\%$	BSP	133	190	202	548	21160.22	257.2%
	MRP	312	0	0	0	7756.53	30.9%
	Heuristic	251	0	38	0	5923.35	
$SL_\beta = 90\%$	BSP	134	221	289	694	23655.45	295.2%
	MRP	313	0	0	0	7793.73	30.2%
	Heuristic	252	0	40	0	5986.23	
$SL_\gamma = 90\%$	BSP	138	212	294	547	23560.58	257.3%
	MRP	345	0	0	0	8972.53	36.1%
	Heuristic	178	0	157	0	6593.67	

5. 결론

본 논문은 다양한 형태를 갖는 공급사슬 내의 재고문제를 다루고자 할 때 기초지식을 얻을 수 있는 다단계 직렬구조를 대상으로 다양한 봉사척도(α, β, γ) 관점에서 확률적 수요를 갖는 공급사슬의 정기발주정책에 초점을 두었으며, 대기시간으로 인하여 문제를 다단계 버퍼할당 및 단일단계 버퍼크기결정 형태로 단순화할 수 없는 경우에 대하여 모의실험에 기초한 발견적 기법을 제시하였다. 포아송수요와 정규수요에 대하여 모의실험을 수행한 결과, 전체 공급사슬 내의 평균재고비용을 최소화하는 관점에서 발견적 기법이 van Houtum, et al.(1996) 그리고 Zijm과 van Houtum (1994)이 제시한 BSP접근방법 및 Orlicky (1975)가 주장한 MRP접근방법보다 우수함을 보여 주었다.

N-단계 직렬구조에 대한 본 논문의 결과는 다른 형태의 공급사슬, 즉 분열구조와 수렴구조를 갖는 공급사슬에 대한 통찰력을 제공하였고, 비교 모의실험 결과로부터 공급사슬에서는 여러 단계간의 상호작용을 고려해야 하고, 또한 통합된 재고정책이 독립적으로 이루어지는 단일단계의 재고정책보다 우수함을 알 수 있었다.

참고문헌

Clark, A. J. and Scarf, H. (1960), Optimal Policies for a Multi-Echelon Inventory Problem, *Management Science*, 21, 475-490.

de Kok, A. G. (1990), Hierarchical Production Planning for Consumer Goods, *European Journal of Operational Research*, 45, 55-69.

Diks, E. B., de Kok, A. G. and Lagodimos, A. G. (1996), Multi-Echelon Systems: A Service Measure Perspective, *European Journal of Operational Research*, 95, 241-263.

Ganeshan, R. (1999), Managing Supply Chain Inventories: A Multiple Retailer,

- One Warehouse, Multiple Supplier Model, *International Journal of Production Economics*, 59(1/3), 341-354.
- Inderfurth, K. and Minder, S. (1998), Safety Stocks in Multi-Stage Inventory Systems under Different Service Measures, *European Journal of Operational Research*, 106, 57-73.
- Lagodimos, A. G. (1992), Multi-Echelon Service Models for Inventory Systems under Different Rationing Policies, *International Journal of Production Research*, 30, 939-958.
- Lagodimos, A. G. (1993), Models for Evaluating the Performance of Serial and Assembly MRP Systems, *European Journal of Operational Research*, 68, 49-68.
- Orlicky, J. A. (1975), *Material Requirements Planning*, McGraw-Hill, New York.
- Rosenbaum, B. A. (1981), Service Level Relationships in a Multi-Echelon Inventory System, *Management Science*, 27, 926-945.
- Schneider, H. (1981), Effect of Service-Levels on Order-Points or Order-Levels in Inventory Models, *International Journal of Production Research*, 19, 615-631.
- Thomas, D. J. and Griffin, P. M. (1996), Coordinated Supply Chain Management, *European Journal of Operational Research*, 94, 1-15.
- van Houtum, G. J., Inderfurth, K. and Zijm, W. H. M. (1996), Materials Coordination in Stochastic Multi-Echelon Systems, *European Journal of Operational Research*, 95, 1-23.
- Verrijdt, J. H. C. M. and de Kok, A. G. (1996), Distribution Planning for a Divergent Depotless Two-Echelon Network under Service Constraints, *European Journal of Operational Research*, 89, 341-354.
- Zijm, H. and van Houtum, G. J. (1994), On Multi-Stage Production/Inventory Systems under Stochastic Demand, *International Journal of Production Economics*, 35, 391-400.



박창규

고려대학교 산업공학과 학사

한국과학기술원 산업공학과 석사

University of Missouri-Columbia, 산업공학과 박사

현재: 울산대학교 경영대학 경영학부 교수

관심분야: 공급사슬경영, 생산정보시스템, 제품설계