

생산 능력 제한이 존재하는 다단계 공급망을 위한 Look-ahead 기반의 분배계획

- Look-ahead Based Distribution Planning for Capacitated Multi-stage Supply Chains -

노 주 석 *

Roh Joo Suk

권 익 현 **

Kwon Ick Hyun

김 성 식 ***

Kim Sung Shick

Abstract

The aim of this study is to establish an efficient distribution planning for a capacitated multi-stage supply chain. We assume that the demand information during planning horizon is given a deterministic form using a certain forecasting method. Under such a condition, we present a cost effective heuristic method for minimizing chain-wide supply chain inventory cost that is the sum of holding and backorder costs by using look-ahead technique. We cope with the capacity restriction constraints through look-ahead technique that considers not only the current demand information but also future demand information. To evaluate performance of the proposed heuristic method, we compared it with the extant research that utilizes echelon stock concept, under various supply chain settings.

Keywords : **supply chain management, multi-stage, capacity constraint supply chain, look-ahead**

* 고려대학교 산업시스템정보공학과 석사과정

** 고려대학교 정보통신기술연구소 연구조교수

*** 고려대학교 산업시스템정보공학과 교수

2006년 9월접수; 2006년 10월 수정본 접수; 2006년 10월 게재확정

1. 서론

현대의 기업은 다품종 소량생산을 바탕으로 치열한 시장 경쟁 체제에서 살아남기 위한 단납기 형태의 새로운 사업 환경을 맞이하고 있다. 제품의 라이프 사이클은 점차 짧아지고 있으며, 고객이 필요로 하는 제품의 수 또한 기하급수적으로 증가하는 추세이다. 각종 기술의 보편화와 상품의 공급과잉으로 인하여 급변하는 고객의 욕구를 적시에 만족시킬 수 있는 능력을 보유한 기업만이 생존할 수 있게 되었다. 20세기 공급자 중심의 경제에서 21세기 수요자 중심의 경제로의 전환이후 이러한 대세는 거의 모든 제조 산업으로 확산되었다[7]. 대부분의 기업들은 빠른 시간 안에 고객의 욕구를 만족시키는 제품을 저렴한 비용을 통해 만들어 내기 위하여 세계 전역을 대상으로 생산, 판매, 개발 등의 글로벌 비즈니스를 수행하고 있다. 이러한 기업 환경 하에서 새로운 고객, 기업, 파트너, 연구기관 등으로 구성된 공급망 각 노드들의 신속, 정확한 정보교환을 가능하게 하는 공급망 관리(Supply Chain Management, 이하 SCM)의 중요성이 더욱 강조되고 있다[3,6].

근래 국내에서도 SCM에 관한 관심이 지속적으로 증가하고 있으며, 학계뿐만 아니라 기업에서도 많은 논의가 되고 있다. 현재까지 많은 제조업체들은 세계 곳곳의 거점 분배센터들을 효율적으로 운영하여 고객 만족과 기업 이익 증대에 힘쓰고 있으나 그에 맞는 효율적인 공급망 분배계획 모듈의 미비로 인하여 많은 어려움에 직면하고 있다. 이와 같은 이유로 인하여 기업 내 환경에서 업무 최적화와 기업 내적, 외적 시설 및 자원의 동적 관리 및 배분을 담당할 효율적인 공급망 분배계획 모듈 개발에 대한 요구가 더욱 높아지고 있다[1].

1960년대 Forrester[13]의 연구 이후 공급망내의 재고 문제는 상당한 주목을 받아왔다[10]. 현실에 보다 쉽게 적용시킬 수 있는 다단계(multi-stage) 재고 모형에 대한 최초의 연구는 Clark and Scarf[8]에 의해 시도 되었는데, 이들은 여러 노드들이 연속적으로 이루어진 시스템(serial system)에서 계층 재고(echelon stock) 기반의 주기적 재고조사(periodic review) 주문정책을 이용하여 최적의 계획을 수립하는 방안을 제안하였다. Federgruen과 Zipkin[12]은 Clark와 Scarf 모델의 결과를 무한기간(infinite horizon) 문제로 확장하는 연구를 하였고, Muckstadt et al.[15]은 Clark와 Scarf 모델을 이용해서 수치적인 연구를 시도하였다. Schmidt와 Nahmias[16]는 2단계 조립형(assembly) 시스템에서 수리적인 모형을 제시하였다. Clark와 Scarf 모델을 연속적인 재고 관리(continuous review) 형태로 변형하는 연구는 Deobdt와 Graves[9]에 의해 시도되었다. 다단계 분배형 공급망 재고 모형에 대한 대표적인 연구로는 Sherbrooke[17]의 METRIC 접근법과 MOD-METRIC[14]을 들 수 있다.

공급망에 대한 재고 문제에 있어서, 대부분의 기업에서 요구되어지는 모델은 생산능력의 제약이 주어지고, 다단계의 구조를 갖는 트리형태(arborescence)의 분배형 네트워크

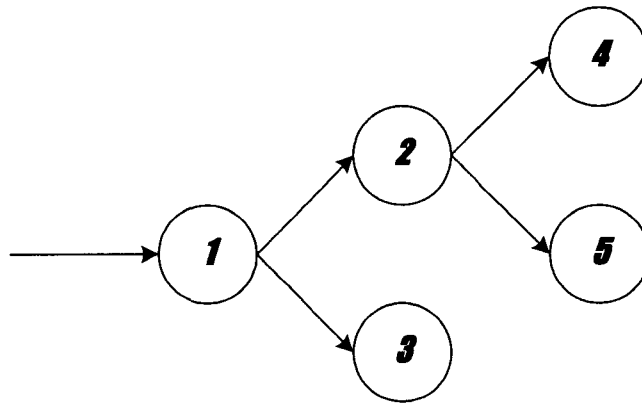
크에 대해서 고객의 수요를 적시에 만족시키는 분배계획을 수립하는 것이다. 하지만 현재까지 진행된 기존 대부분의 연구는 공급량의 제약이 없이 하나의 창고와 여러 개의 소매점으로 구성된 단일창고 복수 소매점 시스템(one-warehouse multi-retailer system)에 대한 연구에 집중되어져 왔다[1,3,11,18].

본 연구에서는 이와 같은 현실적인 상황을 반영하여 일반적인 제조 회사에서 흔히 나타나는 공급사슬, 즉 창고와 물류 센터, 중간창고, 도매상, 소매점 등으로 이루어지는 다단계 분배형 공급망(multi-stage distribution supply chain)에서 제한된 생산 능력을 최대한 활용하여 고객의 수요를 적시에 만족시키는 효율적인 분배계획 수립 방법의 고안에 초점을 두었다.

2. 기본 모형

2.1 가정

본 연구의 대상이 되는 네트워크의 모형은 <그림 1>과 같은 다단계 분배형 재고모델이며, 기본적인 가정은 다음과 같다.



<그림 1> 3단계 분배형 공급망의 표현 예

- 최상위 노드는 생산지에서 제품을 공급받아 하위노드에 분배한다.
- 최하위 노드는 소매점으로서 고객의 직접적인 수요가 발생하는 부분이다.
- 가지 노드(중간 노드)는 제품을 임시 보관하는 중간 창고의 기능과 더불어 고객의 직접적인 수요가 발생하는 소매상으로서의 역할을 할 수 있다.
- 각각의 노드들 사이에는 서로 다른 조달시간(lead time)이 존재할 수 있으며, 이러한 조달시간은 단위 계획구간(time bucket)의 정수배(multiple integer) 형태로써 확

정적(deterministic)으로 주어진다.

- 재고비용의 경우 재고이월 비용(backorder cost)이 재고유지 비용(holding cost) 보다 크다.
- 재고유지 비용은 네트워크상에서 하위 단계에 있는 노드일수록 상위에 있는 노드에 비해 상대적으로 큰 값을 갖는다.
- 수요가 발생하는 노드는 전체 계획 대상 기간(planning horizon) 동안의 수요 예측(demand forecasting)에 기반 하는 확정적인 수요 정보를 사전에 가지고 있다.
- 각 노드들은 모든 제품에 대하여 최초의 공급자에서부터 출발해서 해당 노드까지 도착하는데 소요되는 누적 조달시간(cumulative lead time)이상의 기간에 대한 수요정보를 알고 있다.
- 최상위 노드에서 실제 수요가 발생하는 노드까지 여러 중간노드들을 거쳐야 한다.
- 분배계획과 관련된 모든 상황은 매 기간 초에 발생한다.
- 전체 네트워크를 구성하는 모든 노드들에서 발생하는 일련의 사건들은 다음과 같은 순서로 진행된다.

- ① 현재 기간의 수요를 만족시키기 위한 수송물량 도착
- ② 지난 기간의 수요를 만족시키지 못해 발생한 재고이월(backorder)이 있을 경우 이를 보충
- ③ 실제 수요 발생
- ④ 추가된 수요 정보를 바탕으로 새로운 분배계획 수립 및 이로 인한 물량 이동
- ⑤ 분배계획의 결과로 발생한 재고비용 계산

2.2 기호 정의

- N : 공급망을 구성하는 전체 노드의 수
 T : 계획 대상 기간(planning horizon)
 P_t : t 기간의 생산량
 D_{it} : t 기간 노드 i 의 수요량
 X_{it} : 기간 t 에 노드 i 로 도착하기 위해 수송중인 물량
 I_{it} : 노드 i 의 t 기간말의 재고량
 S_i : 노드 i 를 통해 직접적으로 제품을 공급받는 하위 노드(successor)들의 집합
 h_i : 노드 i 의 재고유지 비용(holding cost)
 b_i : 노드 i 의 재고이월 비용(backorder cost)
 L_{ij} : 노드 i 에서 노드 j 까지 조달시간
 CL_i : 최상위 공급자로부터 노드 i 까지 누적 조달시간(cumulative lead-time)

DN : 수요 발생 노드의 집합

2.3 모델링

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T [h_i \cdot \max(I_{it}, 0) + b_i \cdot \max(-I_{it}, 0)] \tag{1}$$

subject to

$$I_{it} = I_{i(t-1)} + X_{it} - \sum_{j \in S_i} X_{i(t+L_j)}, \quad i \notin DN, \quad t = 1, 2, \dots, T + CL_i \tag{2}$$

$$I_{it} = I_{i(t-1)} + X_{it} - D_{it} - \sum_{j \in S_i} X_{i(t+L_j)}, \quad i \in DN, \quad t = 1, 2, \dots, T + CL_i \tag{3}$$

$$I_{it} \geq 0, \quad i \notin DN \tag{4}$$

$$X_{it} \geq 0, \quad \forall i, \quad t = 1, 2, \dots, T + CL_i \tag{5}$$

$$X_{1(t+L_1)} \leq P_t, \quad \forall t \tag{6}$$

식 (1)은 공급망을 구성하는 모든 노드들이 전체 계획 구간 동안 발생하는 재고유지 비용과 재고이월 비용의 합을 최소화 시키는 목적함수를 나타내고 있다. 식 (2)는 해당 노드가 수요 노드가 아닐 경우, 식 (3)은 해당 노드가 수요 노드일 경우, 해당 기간 말의 재고량을 나타내는 재고 균형(inventory balance) 식을 각각 나타낸다. 식 (4)는 해당 노드가 수요 노드가 아닐 때 재고이월이 나타날 수 없음을 보여주는 제약식이다.

식 (5)는 비음수 제약(non-negative constraints)을 나타내며, 식 (6)은 생산지로부터 최초 공급을 받는 노드의 분배량이 생산지의 생산 능력 이상을 초과 할 수 없음을 나타내는 제약식이다.

3. Look-ahead 기반의 분배계획

3.1 개요

생산 능력이 제한됨으로 인하여 발생할 수 있는 여러 문제점들을 고려하여 전체 재고비용의 합을 최소화하기 위해서는 전체 계획 대상 기간 동안의 수요정보를 모두 반영할 수 있도록 하는 것이 필수적이다. 본 알고리즘에서는 각 수요발생 노드에서 계획 대상 기간 동안 미래수요가 확정적으로 정해진 상황에서 예상되는 재고이월 비용과 재고유지 비용의 비율을 미리 계산하여 해당 기간에 재고이월을 할 것인지 또는 이전의 다른 기간에 할당될 수요량을 늘려서 많은 양의 재고를 보유할 것인지를 고려하여

분배계획을 수립하기로 한다.

본 연구에서는 look-ahead 기법[4,5]을 적용하기 위해서, 주어진 분배계획 모델을 단일 기계 일정계획 문제(single machine scheduling problem)로 전환하였다. 생산지의 생산 능력은 기계의 생산 능력으로, 각 수요 노드의 기간별 수요량은 제품별 납기(due-date)로 각각 전환하였다. 또한, 각 수요 노드의 수요 시점을 해당 노드의 조달시간을 고려하여, 단일 기계의 생산 시점으로 전환하는 접근 방법을 채택하였다.

3.2 알고리즘 절차

Step 0 : 각 노드의 수요정보를 조달시간을 고려하여 변환, 재고이월 비용이 큰 순서대로 각각의 수요 노드에 대해 j 인덱스 부여, where $j=1,2, \dots, |DN|$,
 $E_t = P_t, \quad t = 1,2,\dots,T, \quad Y_{jt} = D'_{jt}, \quad t = 1,2,\dots,T$ and $j=1, 2, \dots, |DN|$.

Step 1 : Set $j=1$.

Step 2 : Set $t=1$.

Step 3 : If $E_t > 0$, Step 3.1로 이동.

else, Step 3.2로 이동

3.1 : If $E_t \geq Y_{jt}, E_t = E_t - Y_{jt}, a_{jt} = Y_{jt}$ 로 설정 후 Step 4로 이동.

else, $a_{jt} = E_t, Y_{jt} = Y_{jt} - a_{jt}, E_t = 0$ 로 설정 후 Step 3.2로 이동.

3.2 : Z 에 $b'_j / (b'_{j+1} + h_1)$ 보다 작은 가장 큰 정수 할당.

3.3 : If $Z \geq 1$, 기간 $(t-n, n=1,2,\dots,Z)$ 순서로 $Y_{jt} = 0$ 또는 $n = Z$ 가 될 때까지 Step 3과 3.1을 반복한 후 Step 3.4로 이동.

else, 기간 $(t+n, n=1,2,\dots,Z)$ 순서로 $Y_{jt} = 0$ 또는 $n = Z$ 가 될 때까지 Step 3과 3.1을 반복한 후 Step 4로 이동.

3.4 : If $Y_{jt} = 0$, Step 4로 이동.

else, 기간 $(t+n, n=1,2,\dots,Z)$ 순서로 $Y_{jt} = 0$ 또는 $n = Z$ 가 될 때까지 Step 3과 3.1을 반복한 후 Step 4로 이동.

Step 4 : Set $t=t+1$.

If $t \geq T$, Step 5로 이동.

else, Step 3으로 이동.

Step 5 : Set $j=j+1$.

If $j > |DN|$, 알고리즘 종료.

else, Step 2로 이동.

Step 0에서는 3.3절의 수치 예제에서 <표 1>을 <표 2>로 변환한 것과 같이, 수요 시점을 단일 기계 일정계획 문제의 생산 시점과 맞추기 위하여 조달시간을 고려하여 수요 정보를 수정하는 초기화 단계이다. 또한, 수요 발생 노드의 재고이월 비용이 큰

순서대로 각 노드에 $j(j=1,2,\dots,|DN|)$ 인덱스(index)를 부여한다. Step 3에서는 기간 t 에서 공급할 수 있는 양 E_t 가 존재한다면, j 인덱스를 갖는 노드의 t 기간의 수요량인 Y_{jt} 를 할당한다. 이때 기간 t 에 E_t 가 Y_{jt} 를 모두 할당 할 수 있을 만큼 크다면 $E_t = E_t - Y_{jt}$ 을 계산한 후 Step 4로 이동한다. 만일 모두 할당 할 수 없다면 부족한 양 $Y_{jt} - a_{jt}$ 을 계산하고 Step 3.2로 이동한다. 해당 기간의 수요량이 공급량을 초과할 경우, 재고이월 비용을 발생시킬 것인지, 아니면 재고유지 비용을 감수하고, 이전 기간에 미리 할당할 것인지를 결정하기 위해 $RC(\text{Ratio of Cost}) = b'_j / (b'_{j+1} + h_1)$ 라는 비율을 새로이 정의하여 사용하였으며, 이때 Z 는 RC 보다 작은 가장 큰 정수로 정의한다.

3.3 수치 예제

본 절에서는 앞서 2.1절의 <그림 1>과 같이 5개의 노드로 구성된 3단계 분배형 네트워크 모형에 대하여, 본 연구에서 제안된 알고리즘을 적용하여 분배계획을 적용하는 절차를 보이고자 한다. 각 노드들은 서로 다른 조달시간(lead-time)을 가지며 각 노드에 대한 재고비용과 초기 재고, 기간별 수요량, 조달시간에 대한 정보는 <표 1>에 자세하게 나타내었다. 대상 네트워크는 수요 노드가 4개(노드 2,3,4,5)라고 가정하였으며, 이에 따라 작업 종류가 4개인 작업 할당 문제로 변환하여 주어진 문제를 풀면 다음과 같다(<그림 2> 참조).

<표 1> 각 노드의 기본 정보

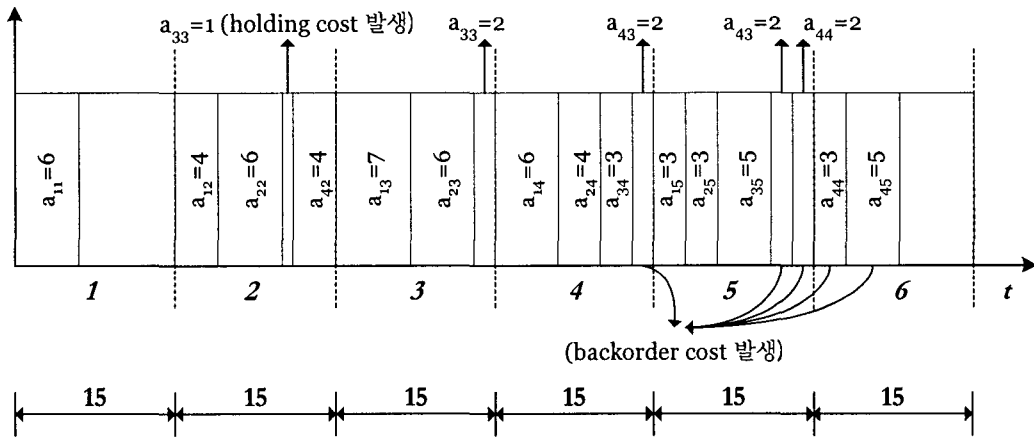
노드 번호	h_i	b_i	I_{i0}	D_{it}				
				1	2	3	4	5
1	1	-	0	-	-	-	-	-
2	2	7	0	3	3	5	-	-
3	2	8	0	6	6	4	3	-
4	4	5	0	4	4	5	5	-
5	3	10	0	6	4	7	6	3

생산지에서 기간마다 공급받을 수 있는 양(P_t)은 15라 가정하고 각각의 재고이월 비용의 순서대로 수요노드 4개를 정렬하면 아래 <표 2>와 같이 된다. 또한 각 노드별로 기간별 수요에 맞도록 조달시간을 고려하여 변환해야 한다.

<표 2> 각 노드의 재고이월 비용 우선순위 수요정보로의 변환

노드 번호	j	h'_j	b'_j	I'_{j0}	D'_{jt}				
					1	2	3	4	5
5	1	3	10	0	6	4	7	6	3
3	2	2	8	0	-	6	6	4	3
2	3	2	7	0	-	-	3	3	5
4	4	4	5	0	-	4	4	5	5

아래 <그림 2>는 분배계획 알고리즘을 적용해 위의 문제를 푼 후 간트 차트(gantt chart) 형식으로 풀이 과정을 간략히 나타낸 것이다.



<그림 2> 미래 수요를 고려한 분배계획 알고리즘의 결과

4. 실험 및 결과 분석

본 연구에서는 공급 능력 제약이 존재하는 경우에 전체 계획 기간의 수요 정보를 반영한 개선된 알고리즘을 제시하였다. 알고리즘의 효율성 및 타당성을 검증하기 위해 look-ahead 기법을 적용하지 않은 기존의 계층 재고 정책(echelon stock policy)에 기반을 둔 분배계획 알고리즘[2]의 결과를 비교 실험하여 본 연구에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기로 한다. 비교 실험을 위해 본 연구에서는 아래의 <표 3>과 같이 실험계획을 구성하였다.

<표 3> 실험계획

항목	사용 값
계획 대상 기간	10, 20, 30, 50
노드 개수	5, 10, 15, 20
재고이월 비용	10 ~ 30
재고유지 비용	1 ~ 10

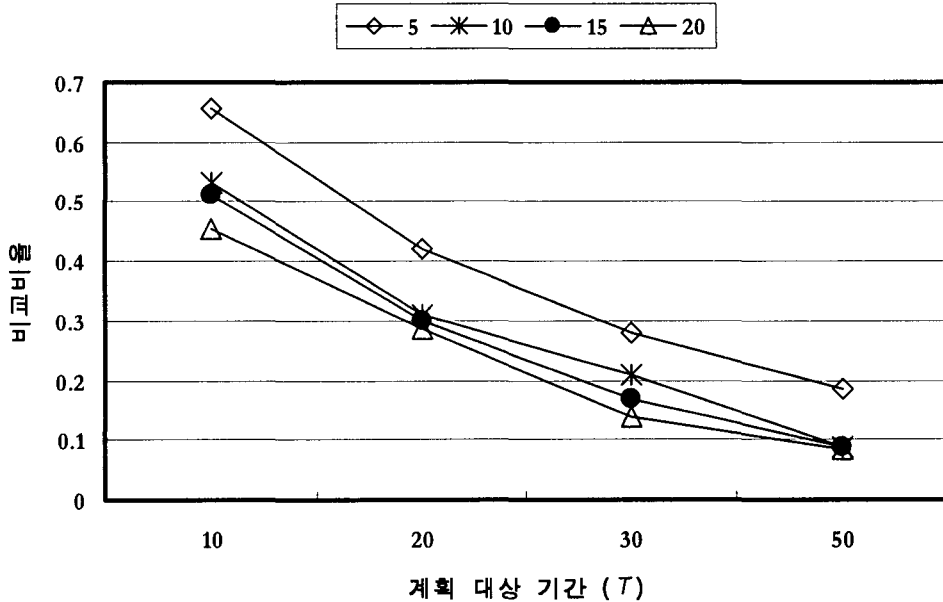
본 연구에서는 두 알고리즘에 대한 수행도 평가를 위해서 $TC(N, T)$ 을 정의하였다. 이때 $TC(N, T)$ 은 노드 수 N , 계획 대상 기간 T 에 대한 아래와 같은 비교비율을 말한다.

$$\text{비교비율} = \frac{\text{본 연구에서 제안한 알고리즘의 총비용}}{\text{미래수요를 고려하지 않은 기존 알고리즘의 총비용}}$$

아래 <표 4>와 <그림 3>을 통해 본 실험을 통해 분석한 결과들을 종합해 보면, 본 연구에서 제안한 분배계획 알고리즘은 해의 비용 측면에서 미래 수요를 고려하지 않은 기존의 알고리즘 보다 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 또한 계획 대상 기간의 길이에 따른 해의 결과를 보면, 계획 대상 기간의 길이가 길어질수록 두 알고리즘에 대한 해의 성능의 차이가 더욱 증가함을 알 수 있으며, 노드 수가 증가할 경우에도 마찬가지로의 결과를 나타냄을 알 수 있다. 이러한 결과 형태를 보이는 이유를 분석해 보면, 계획 대상 기간이 길어질수록 생산능력을 고려해서 분배량을 결정해야할 기회가 많아지고, 이때 미래 수요를 반영하는 효과적인 조정 정책을 통한 분배계획을 수립할 수 있기 때문이다. 또한 노드의 개수의 증가에 따라 비교비율이 조금씩 감소하였는데 이는 계획 대상 기간과 마찬가지로 노드의 개수가 늘어남에 따라 좀 더 다양한 분배 계획 수립이 가능해졌기 때문으로 풀이된다.

<표 4> 비교 대안에 대한 결과 값 비교

N \ T	T			
	10	20	30	50
5	0.656	0.420	0.278	0.185
10	0.532	0.308	0.209	0.087
15	0.513	0.300	0.167	0.086
20	0.456	0.285	0.138	0.083



<그림 3> 계획 대상 기간과 노드 수의 변화에 대한 비교비율

5. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 생산능력의 제한이 존재하는 다단계 공급사슬에서 발생하는 총 재고 비용을 최소화하는 분배계획 수립 방법을 제시하였으며, 미래 수요를 고려하지 않은 기존의 분배계획 알고리즘과의 다양한 비교 실험을 통하여 제안된 알고리즘의 효율성을 입증하였다. 특히 대상 시스템의 복잡도(계획 대상 기간, 노드 수)가 증가할수록 제안된 알고리즘은 기존 알고리즘과 비교하여 탁월한 성능을 보임을 알 수 있었다. 이와 같은 결과를 나타내는 주된 이유는 계획 기간이 길어지거나 노드수가 많아질수록 생산 능력 제약에 따른 분배량을 결정해야 될 기회가 많아지고, 이 경우 미래 수요를 고려한 조정을 통하여 효과적인 분배 계획을 실시할 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 기본적인 가정으로 수요예측을 통하여 얻어지는 확정적인(deterministic) 수요정보를 바탕으로 미래수요를 반영하는 분배계획을 수립한다. 하지만 예측된 수요는 실제로 발생하는 수요와 항상 일치하지 않으며, 이러한 차이는 알고리즘의 효율성을 저해시키는 주요한 요인이 된다. 따라서 추후 연구과제로 보다 실제적인 상황을 반영하여 알고리즘의 효율성을 높이기 위해서 확률적(stochastic)인 값 형태의 수요정보를 반영할 수 있는 방법에 관한 연구가 필요하겠다.

6. 참 고 문 헌

- [1] 김숙한, 이영해, “공급사슬경영 연구의 현황 및 향후 연구방향”, IE Interfaces, Vol.13, No.3 (2000) : 288-296
- [2] 안재성, 권익현, 김성식, “Rolling horizon 환경하에서 다단계 재고 모형의 분배계획 수립에 관한 연구”, IE Interfaces, Vol.16, No.4 (2003) : 441-449
- [3] Axsäter, S., Inventory control, Kluwer Academic Publishers, Boston (2000)
- [4] Blackburn, J. D. and Millen, R. A., “Improved heuristic for multi-stage requirements planning systems”, Management Science, Vol.28, No.2 (1982) : 44-56
- [5] Chand, S., “A note on dynamic lot sizing in a rolling-horizon environment”, Decision Sciences, Vol.13, No.1 (1982) : 113-119
- [6] Chopra, S. and Meindl, P., Supply chain management: strategy, planning, and operation, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey (2001)
- [7] Cohen, M. A. and Huchzermeir, A., “Global supply chain management: A survey of research and applications”, International Series in Operations Research and Management Science, Vol.17 (1999) : 669-702
- [8] Clark, A. J. and Scarf, H., “Optimal policies for a multi-echelon inventory problem”, Management Science, Vol.6, No.4 (1960) : 475-490
- [9] Deboadt, M. and Graves, S. C., “Continuous review policies for a multi-echelon inventory problem with stochastic demand”, Management Science, Vol.31 (1985) : 1286-1299
- [10] Diks, E. B. and De Kok, A. G., “Computational results for the control of a divergent N-echelon inventory system”, International Journal of Production Economics, Vol.59, No.1 (1999) : 327-336
- [11] Federgruen, A., Centralized planning models for multi-echelon inventory systems under uncertainty, in Graves, S. C., Rinnooy Kan, A. H. G. and Zipkin, P. H. (Eds.), Logistics of Production and Inventory, North-Holland, Amsterdam (1993)
- [12] Federgruen, A. and Zipkin, P. H., “Computational issues in an infinite-horizon multiechelon inventory model”, Operations Research, Vol.32 (1984) : 818-836
- [13] Forrester, J. W., Industrial dynamics, MIT Press, Cambridge, MA (1961)
- [14] Muckstadt, J. A., “A model for a multi-item, multi-echelon, multi-indenture inventory system”, Management Science, Vol.20, No.1 (1973) : 472-481
- [15] Muckstadt, J. A., Lambrecht, M. and Luyten R., “Protective stocks in

- multi-stage production systems”, International Journal of Production Research, Vol.6 (1984) : 1001-1025
- [16] Schmidt, C. P. and Nahmias, S., “Optimal policy for a two-stage assembly system under random demand”, Operations Research, Vol.33 (1985) : 1130-1145
- [17] Sherbrooke, C. C., “METRIC: A multi-echelon technique for recoverable item control”, Operations Research, Vol.16, No.1 (1968) : 122-141
- [18] Vakharia, A. J., “Integrated production/distribution planning in supply chains”, European Journal of Operational Research, Vol.115, No.2 (1999) : 219-236

저 자 소 개

노 주 석 : 고려대학교 수학과 학사, 현재 고려대학교 산업시스템정보공학과 석사과정 및 삼성전자(주) 반도체 총괄 재직 중, 관심분야는 SCM, MES, Advanced Process Control, Dispatcher

권 익 현 : 고려대학교 산업공학과 학사, 석사, 박사를 취득하였으며 현재 고려대학교 정보통신기술연구소 연구조교수로 재직중, 관심분야는 생산 및 물류관리, e-business, 시스템 최적화

김 성 식 : 고려대학교 기계공학과 및 동대학원 산업공학과 석사, 미국 Southern Methodist University 산업공학과 석사 및 박사, 현재 고려대학교 산업시스템정보공학과 교수, 관심분야는 생산 및 재고관리 시스템, CIM/ERP/SCM, Advanced Process Control

저 자 주 소

노 주 석 : 서울시 성북구 안암동5가 고려대학교 산업시스템정보공학과

권 익 현 : 서울시 성북구 안암동5가 고려대학교 산업시스템정보공학과

김 성 식 : 서울시 성북구 안암동5가 고려대학교 산업시스템정보공학과