

비정수 지연시간을 고려한 통합 생산/분배 모형

김종수 · 신기영 · 문치웅[†]

한양대학교 산업공학과

A Framework of the Integrated Production/Distribution Model with Non-Integer Lags

Jong Soo Kim · Ki Young Shin · Chi Ung Moon

Department of Industrial Engineering, Hanyang University, Ansan, 426-791

Until now, the traditional production models and logistics have developed a broader strategic approach called supply chain. However, there are some obstacles to apply industry practice because of unrealistic assumptions. The most serious of them is that they assume the lead times are integer multiples of the planning time grid. This assumption makes it difficult to express the processing and transportation lags correctly.

Thus, in this paper, we propose a new methodology for the integrated production/distribution model having non-integer time lags using the concept of dynamic production function. In case that the time lags are integer or non-integer, the dynamic production function reflects well the situation under given environments. Experiments show that the proposed model can express the real system more accurately than the prior model can.

Keywords: supply chain management, non-integer leadtime, integrated production/distribution model

1. 서론

공급사슬경영에서 나타나는 가장 큰 특징은 소비자 수요의 작은 변동이 공급자에게 전달되는 과정에서 크게 확대되어 공급자 입장에서는 수요의 변동이 매우 불확실하게 보이게 되는 채찍효과(Bullwhip Effect)라 할 수 있다. 이 효과는 과잉생산, 과잉재고 혹은 납기지연 등을 초래하며 추가비용을 발생하게 한다. 공급사슬에 있어 이러한 정보의 왜곡현상으로 거래 주체의 구성원들의 합리적이고 논리적인 판단과 행동에도 불구하고 공급사슬 전체적으로는 재고를 많이 보유하게 되고 고객에 대한 서비스 수준도 떨어지며, 생산계획의 오류, 수송상의 비효율, 생산계획의 어려움 등과 같은 악영향이 발생하게 된다. 잘 알려진 채찍효과와 원인으로는 수요예측, 공급부족, 가격변동 그리고 정보지연과 배달지연 등과 같은 지연시간이 있다. 이러한 원인들 때문에 공급사슬을 통합하여 생산재고 시스템을 개발하기에 많은 어려움이 따른다.

우선 채찍효과와 관련된 이전 연구를 살펴보면 Lee *et al.* (1997)은 2계층 공급사슬구조에서 정보공유에 대한 재고방침

을 제시하고 정보공유를 통한 비용감소를 입증하였다. Cachon과 Fisher(2000)은 전통적인 정보공유정책에서 공급자의 재고가 소매상의 총주문량을 감당하기 불충분할 경우 소매상의 첫 번째 주문에 대해 우선권을 주어 배치를 할당하는 방법을 제시하였다. 공급사슬에서 발생하는 지연시간의 영향에 관한 연구로 Chen *et al.*(2000)은 2계층 공급사슬상의 채찍효과를 수요정보가 중앙집중화될 때와 분산화될 때를 나누어 정량화하고 수요예측과 지연시간의 영향을 분석했다. 공급사슬에서 정보공유와 지연시간의 영향에 관한 연구들은 많이 이루어져 왔으나 이들이 다룬 연구의 특징은 수요정보의 공유를 통한 지연시간의 단축에 초점을 맞추었다. 본 연구에서는 지연시간을 단축시키려는 것이 목적이 아니라 현실에 존재하는 지연시간을 정확하게 표현하고자 하는 것이 목적이다.

또한, 본 연구와 관련된 연구들 중 통합모형에 관한 기존 연구를 살펴보면 Hackman and Leachman(1989)이 생산모형을 지연시간을 고려하여 선형 모형으로 제시하였으며, 비정수 지연시간을 고려하기 위한 동적생산함수 개념을 도입하였다. Erengüç *et al.*(1999)은 공급사슬에서 생산과 분배에 관한 모형

[†] 연락저자 : 문치웅 교수, 426-791 경기도 안산시 한양대학교 정보경영공학과, Fax : 031-409-2423, E-mail : cumoon@hanyang.ac.kr
2004년 4월 접수; 2004년 12월 수정본 접수; 2005년 2월 게재 확정.

을 세 가지 분야 - 생산, 재고, 그리고 분배센터 - 로 나누고 그 분야에 해당되는 수리모형을 자세하게 설명하였다. 하지만, 이 연구에서는 통합모형에 관해서 언급만 되어 있을 뿐 모형은 제시하지 않았다. Escudero *et al.*(1999)은 불확실한 생산, 수요뿐만 아니라 불확실한 조달, 생산가용성, 공급비용, 지연시간 등을 고려한 상황에서, MAD(Manufacturing, Assembly and Distribution) 공급사슬계획문제를 제시하고 그 문제에 대한 최적화를 위하여 모형화 기법을 제시하였다. Jayaraman and Pirkul(2001)은 다중 플랜트, 다품종 생산, 다중 분배센터를 고려한 통합된 환경하에서 생산 및 분배 설비배치(할당)를 위한 통합 물류모형을 연구하였다. Dasei and Verter(2001)은 생산/분배시스템 디자인 문제(production/distribution system design problem)에서 이산적 근사화 모형과 연속적 근사화 모형에 대해 개괄했으며, 이 두 분석법은 서로 상호보완적임을 확인하였다. 그 외의 기존 연구들은 대부분 수요에 대한 불확실성을 해결하기 위하여 수요에 대한 분포를 가정하고 문제를 분석하는 확률적 모형에 관한 것이었다.

이전 연구와 비교하여 볼 때 본 연구가 갖는 의의는 공급사슬에 존재하는 정수 지연시간뿐만 아니라 비정수 지연시간도 고려할 수 있는 통합 생산/재고 모형을 제시한다는 것이다. 공급사슬을 위한 수리모형에서 지연시간을 표현하는 방법은 어려운 일은 아니다. 그러나 대부분의 이전 연구에서는 지연시간을 단축시키려는 데 초점을 두거나 비정수 지연시간을 단위시간에 맞추어 발생한다고 가정하여 모형수립을 하였다. 즉, 지연시간을 단위시간의 정수배라고 가정하였다. 그렇기 때문에 채택효과에 의해 생기는 왜곡현상 외에 부수적으로 지연시간을 정확하게 표현하지 않아서 생기는 오차까지 포함되는 현상이 발생하게 된다. 따라서, 지연시간을 정확하게 모형에 표현해 주는 것은 중요하며 이로써 부수적으로 발생할 수 있는 추가적인 비용을 억제할 수 있다. 특히, 공급사슬환경에서 지연시간을 정확하게 표현해줌으로써 발생하는 비용의 감소 측면에서 효과가 있으리라 기대된다.

이후 논문의 전개는 다음과 같다. 2장에서는 동적생산함수의 개념을 소개하고 그 개념을 이용하여 지연시간을 고려한 모형을 제시한 후 통합 생산/분배 모형을 제시한다. 3장에서는 제시된 모형이 비정수 지연시간을 잘 표현할 수 있는지를 수치예제를 통하여 검증하며 마지막 4장에서는 결론 및 추후 연구에 관하여 설명한다.

2. 수리모형

본 연구에서 사용할 기호는 다음과 같다.

- 첨자
- i : 제품
- k : 분배센터

- l : 고객
- t : 기간
- τ : 기간 t 에 종속되는 기간($1 \leq \tau \leq t$)
- z_k : k 분배센터에서 제품을 공급받는 고객집합

결정변수

- X_{it} : t 기간 i 제품의 생산율
- I_{it} : t 기간 i 제품의 재고수준
- I_{ikt} : t 기간 k 분배센터에서 i 제품의 재고수준
- q_{ikt} : t 기간 공장에서 k 분배센터로 가는 i 제품의 운송량
- q_{iklt} : t 기간 k 분배센터에서 l 고객으로 가는 i 제품의 운송량
- $U_i = 1$ i 제품이 생산되면 1, 그렇지 않으면 0
- $V_k = 1$ k 분배센터가 운영되면 1, 그렇지 않으면 0

입력모수

- h_{it} : t 기간 i 제품의 재고유지비용
- h_{ikt} : t 기간 k 분배센터에서 i 제품의 재고유지비용
- p_{it} : t 기간 i 제품의 생산비용
- c_{ikt} : t 기간 공장에서 k 분배센터로 이동되는 i 제품의 운송비용
- c_{iklt} : t 기간 k 분배센터에서 l 고객으로 이동되는 i 제품의 운송비용
- d_{iklt} : t 기간 k 분배센터에서 i 제품에 대한 l 고객의 최종수요
- C_{it} : t 기간 i 제품의 생산용량
- C_{ikt} : t 기간 i 제품에 대한 k 분배센터의 저장용량
- LA_i : 생산 후 지연시간
- LB_k : 생산 전 지연시간
- LC_k : 운송 지연시간

2.1 동적생산함수

지연시간이 포함된 통합 생산/분배 모형을 설명하기 위하여, 우선 동적생산함수를 설명하고자 한다. 비정수 지연시간을 가지는 생산모형의 경우, 대부분 이전 연구에서는 비정수 지연시간을 정수형으로 바꾸어 사용하였다. 이 방법들은 단위시간을 작게 분할해서 정수배로 만들어 사용하거나 비정수 지연시간의 값을 올리거나 내린다. 그러나 단위시간을 작게 분할하여 정수배로 만드는 방법은 모형의 크기를 늘리는 결과를 초래하여 수행시간이 오래 걸린다는 단점이 있다 그리고 지연시간을 올려서 계산하는 경우는 초과 재고량이 발생하게 되며, 내려서 계산하는 경우는 품질이 발생하게 된다. 그러므로 비정수 지연시간을 정확하게 모형에 반영하지 못하게 된다.

특히, 지연시간은 결정변수가 아니라 입력모수로 주어진 후 수리모형에 반영하여 해를 구하게 된다. 만일 결정변수가 정수인지 비정수인지로 구분된다면 정수계획법(IP)과 선형 계획법(LP)으로 나누어 해를 구할 수 있겠지만, 본 논문에서는 입력모수인 지연시간의 형태가 정수인지 비정수인지의 문제이기 때문에 비정수인 지연시간을 적용시킬 수 있도록 모형을 변형시키는 것에 초점을 둔다. Hackman and Leachman(1989)이 제안한 수리모형이 이런 문제들을 해결하기 위한 유일한 접근방법이다. 그들의 방법을 이해하기 위하여 동적생산함수를 이해하는 것이 우선적으로 필요하다. 다품목을 가지며 지연시간을 고려한 재고균형식은 다음과 같이 표현된다.

$$I_{i(t-1)} - I_{it} + X_{i(t-LT_i)} = d_{it}, \quad \forall i, t \quad (1)$$

LT_i 은 i 제품의 지연시간이라 하고 $X_{i(t-LT_i)}$ 은 $t-LT_i$ 기간동안 i 제품의 생산율이라 하자. 식 (1)이 가지고 있는 문제점은 LT_i 가 비정수일 때, $t-LT_i$ 도 비정수가 되며, 식 (1)은 더 이상 유효한 식이 아니게 된다. 예를 들어, 3.6기간의 생산율을 정의할 수가 없다(이 경우는 $t=4$, $LT_i=0.4$ 일 때 발생한다). 이런 경우 기존 방법에서는 $t-LT_i$ 의 값을 유효한 기간으로 만들기 위하여 3 또는 4로 수정하여 사용한다. 그러나 이러한 방법은 적용하기에는 쉬우나 수정한 만큼의 오차가 발생하여 정확한 해를 구한다고 볼 수 없다. 게다가 우리가 다루는 공급사슬에서의 시스템은 보다 복잡하여 지연시간을 근사화하여 사용하게 되면 정확한 값을 도출하기가 더욱 어려워진다. 따라서 이런 상황에서 우리는 동적생산함수를 채택하여 식 (1)을 다음과 같이 바꾸어 표현할 수 있다.

$$I_{i0} - I_{it} + \begin{cases} (t)X_{i(-LT_i)^+} = \sum_{\tau=1}^t d_{i\tau}, & \text{if } t-LT_i < (-LT_i)^+ \\ + \left\{ [(-LT_i)^+ + LT_i]X_{i(-LT_i)^+} + \sum_{(-LT_i)^+ < \tau \leq (t-LT_i)^+} X_{i\tau} \right. \\ \left. + [(t-LT_i) - (t-LT_i)^-]X_{i(t-LT_i)^-} = \sum_{\tau=1}^t d_{i\tau}, & \text{otherwise} \right. \end{cases} \quad (2)$$

실수 x 에 대하여, x^+ 은 x 와 같거나 큰, 가장 작은 정수라 하고, x^- 은 x 와 같거나 작은 가장 큰 정수라 하고 $1 \leq \tau \leq t$ 이다.

식 (2)는 정수형 지연시간뿐만 아니라 비정수형 지연시간을 반영할 수 있는 식이다. 식 (2)에서 X_{it} 와 관련된 부분을 설명하면 다음과 같다. 가장 위 식은 적분의 상하한경계가 동일한 기간 안에 있게 될 때 발생할 수 있는 경우를 고려하여 생산량을 지연시간만큼의 비율로 계산하여 준 식이고, 아래 식의 처음부분과 끝부분 $- [(-LT_i)^+ + LT_i]$ 과 $[(t-LT_i) - (t-LT_i)^-]$ 은 적분범위 안에 포함된 첫 기간과 끝 기간의 생산량을 계산해준 식이며 중간 부분은 해당 기간 안의 생산량을 간단하게 합하는 식이다. 본 논문에서 고려하는 기간 $t=1, \dots, T$ 에서는 $(-LT_i)^+$ 는 항상 음수가 되므로 식 (2)의 실제로 사용

되는 부분만으로 간략하게 표현하면 식 (3)과 같다.

$$I_{it} = I_{i0} - \sum_{\tau=1}^t d_{i\tau} + \left[\sum_{0 < \tau \leq (t-LT_i)^-} X_{i\tau} + ((t-LT_i) - (t-LT_i)^-)X_{i(t-LT_i)^-} \right] \forall i, t \quad (3)$$

이 개념을 이용하여 생산계획모형을 다음과 같이 표현할 수 있다.

LP 1:

$$\text{Min } Z = \sum_{i,t} h_{it}I_{it} + \sum_{i,t} p_{it}X_{it} \quad (4)$$

s.t

$$I_{i0} - I_{it} + \left[\sum_{0 < \tau \leq (t-LT_i)^-} X_{i\tau} + ((t-LT_i) - (t-LT_i)^-)X_{i(t-LT_i)^-} \right] = \sum_{\tau=1}^t d_{i\tau}, \quad \forall i, t \quad (5)$$

$$X_{it}, I_{it} \geq 0, \quad \forall i, t \quad (6)$$

모형 LP 1에서 표현을 단순화하기 위하여 L_i 을 생산 후 지연시간과 생산 전 지연시간을 포함한 지연시간으로 표기하였다.

2.2 비정수 지연시간을 고려한 통합 생산/분배 모형

본 연구에서 고려하는 시스템은 다품목을 생산하는 단일 공장, 여러 개의 분배센터 그리고 고객 집단이 있는 시스템이며, 이를 위한 통합 생산분배 모형을 고려하고 있다. <Figure 1>은 고려하고 있는 시스템의 전반적인 흐름을 나타낸 것이다. 공장의 생산용량과 분배센터의 저장용량은 충분하다고 가정한다. 공장과 분배센터 사이에는 생산과 운송 지연시간이 존재하며, 이 것은 비정수라고 가정한다. 단, 분배센터와 고객 사이에는 운송지연시간이 없다고 가정한다.

생산준비 비용과 시간은 무시하고 최종제품의 수요는 랜덤하게 발생한다고 가정한다. 생산 전 지연시간이란 제품이 공정중 재고로부터 나와 다음 공정에 투입될 때까지의 시간을 의미하며, 생산 후 지연시간이란 생산공정을 마친 후 운송이나 재고로 처리되기 전까지의 시간을 의미한다. 목적식은 세 가지 주요 비용 - 생산비용, 재고유지비용, 그리고 운송비용 - 요소로 구성되어진다.

전체 비정수 지연시간을 고려한 통합 생산분배 모형은 다음과 같다. 이 모형을 MBLP라고 부르기로 한다.

MBLP:

$$\text{Min } \sum_{i,t} (h_{it}I_{it} + p_{it}X_{it}) + \sum_{i,k,t} (h_{ikt}I_{ikt} + c_{ikt}Q_{ikt}) + \sum_{i,k,t,t'} c_{ikt}Q_{ikt'} \quad (7)$$

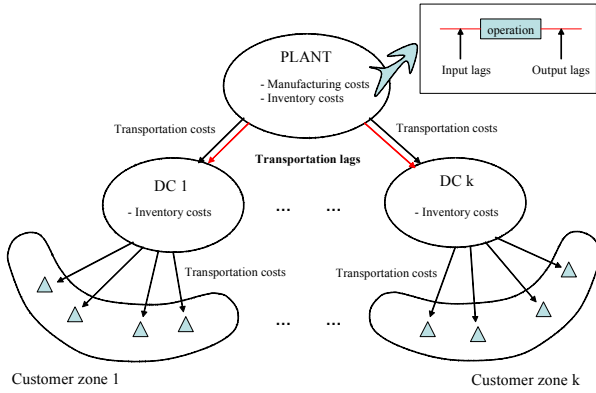


Figure 1. The overall flow of the system.

s.t

$$I_{i0} - I_{it} + \sum_{0 < \tau \leq (t - (LA_i + LB_i))^-} X_{i\tau} + [(t - (LA_i + LB_i))^- - (t - (LA_i + LB_i))] X_{i(t - (LA_i + LB_i))^-} = \sum_{k, \tau} q_{ik\tau}, \quad \forall i, t \quad (8)$$

$$I_{ik0} - I_{ikt} + \sum_{0 < \tau \leq (t - LC_k)^-} q_{ik\tau} + [(t - LC_k)^- - (t - LC_k)] q_{ik(t - LC_k)^-} = \sum_{l \in z_k, \tau} q_{ikl\tau}, \quad \forall i, k, t \quad (9)$$

$$q_{ikl} = d_{ikl}, \quad \forall i, k, l, t \quad (10)$$

$$X_{it} \leq C_{it} U_i, \quad \forall i, t \quad (11)$$

$$q_{ikt} \leq C_{ikt} V_k, \quad \forall i, k, t \quad (12)$$

$$X_{it} \geq 0, \quad \forall i, t \quad (13)$$

$$I_{it} \geq 0, \quad \forall i, t \quad (14)$$

$$I_{ikt} \geq 0, \quad \forall i, k, t \quad (15)$$

$$q_{ikt} \geq 0, \quad \forall i, k, t \quad (16)$$

$$q_{ikl} \geq 0, \quad \forall i, k, l, t \quad (17)$$

$$U_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \quad (18)$$

$$V_k \in \{0, 1\} \quad \forall k \quad (19)$$

제약식 (8)은 생산량과 공장에서의 재고량, 분배센터로 운송될 제품량 사이에 관련된 재고균형식이다. 공장으로부터 받을 제품량, 고객에게 배송될 제품량, 그리고 분배센터의 재고량 사이의 재고균형식은 식 (9)에 표현되어 있다. 제약식 (10)은 총 수요와 분배센터로부터 받아야 할 제품량과 같게 만들어주

는 식이다. 제약식 (11)과 (12)는 각각 제품에 대한 이진생산 준비변수와 용량에 관련된 분배센터의 할당변수이다. 결정변수에 대한 기술적 제약식은 식 (13)~(19)이다. 목적식은 생산, 공장과 분배센터의 재고, 공장과 분배센터 사이의 운송에 대한 비용을 최소화하는 식으로 식 (7)로 표현된다. 본 연구에 제안된 통합 생산/분배 모형은 정수 지연시간을 표현할 수 있을 뿐만 아니라 비정수 지연시간도 표현할 수 있도록 수립되었다.

3. 수치예제

본 수치예제의 목적은 제안한 통합 생산/분배 모형이 비정수 지연시간을 잘 반영하는지를 보여주하고자 함에 있다. 실험은 펜티엄(1.2GHz) PC에서 GAMS 2.50(1998)을 사용하여 수행되었다. GAMS는 수리모형을 풀기 위해 개발된 상업용 프로그램이다. GAMS는 선형 계획법뿐만 아니라 혼합 정수계획법 등 다양한 수리모형을 분지한계법(branch-and-bound method)을 이용하여 해를 구한다. 본 수치예제에서는 비교적 간단한 기본모형에 대하여 타당성 분석을 수행한 후 제안모형인 통합 생산/분배 모형에 대하여 타당성 분석을 수행한다. 각 수치예제에서 우선 주어진 조건의 수리모형을 생성한 후, 그 모형을 GAMS를 사용하여 해를 구한 후, 그 해들(결정변수의 값들)이 주어진 지연시간에 맞추어 각 기간별 수요를 충족시키는지 여부를 확인한다.

3.1 기본모형의 타당성 분석

첫 번째로 통합 생산/분배 모형에 대한 수치예제에 들어가기에 앞서 2.1절에서 제안한 모형이 비정수 지연시간을 보다 정확하게 표현하고 있다는 것을 보여주하고자 한다 앞서 언급한 것처럼, 비정수 지연시간은 단위시간을 작게 분할해서 정수배로 만들어 모형에 반영하거나 비정수 지연시간의 값을 올리거나 내려서 모형에 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 단위시간을 작게 분할하여 정수배로 만드는 방법은 모형의 크기가 커지고 그에 따라 수행시간도 오래 걸린다는 단점이 있다. 그리고 지연시간을 올려서 계산하는 경우는 초과 재고량이 발생하게 되고 내려서 계산하는 경우는 품질이 발생하게 된다. 본 수치예제에서는 재고수준과 품질량을 수행적으로 정한다. 이 때의 품질량은 수리모형에서 발생한 품질량의 의미가 아니라 수리모형을 통해 나온 계획량을 토대로 실제 비정수 지연시간을 반영하여 각 기간별 요구수요량을 계산하였을 때 발생하는 품질량을 의미한다.

지연시간이 정수인 경우에는 기존의 모형수립방법으로 모형을 수립한 경우와 우리가 제안한 모형수립방법으로 모형을 수립한 경우 같은 결과를 나타낸다. 그러므로, 지연시간이 정수인 경우는 기존 모형수립방법을 적용하든지, 제안 모형수립방법을 적용하든지에 영향을 받지 않는다. 따라서, 비정수 지

서 제안한 통합 생산/분배 모형은 비정수 지연시간을 반영한 해를 구하는 것에 문제가 없음을 알 수 있다. 하지만, <Table 4>와 <Table 5>의 문제 11과 12처럼 모형의 크기가 커졌을 경우 GAMS의 수행한계로 인해 결과값을 얻을 수 없었다.

Table 4. The results of test problem by GAMS I
($LA_i = 0.7, LB_i = 0.7, LC_k = 0.2$)

Prob. No.	i	k	l	t	Optimal solution	CPU time(s)
1	1	1	1	10	362.36	0.15
2	1	1	1	50	2253.27	1.15
3	1	1	4	10	1617.21	0.25
4	1	1	4	50	8954.66	1.98
5	1	2	4	10	1111.97	0.44
6	1	2	4	50	8749.59	1.68
7	1	2	4	100	18838.09	12.62
8	3	2	4	50	27080.03	10.38
9	3	2	4	100	54694.63	30.63
10	10	2	11	50	75284.75	41.11
11	10	2	11	100	-	-
12	12	2	11	100	-	-

Table 5. The results of test problem by GAMS II
($LA_i = 0.5, LB_i = 1.2, LC_k = 0.9$)

Prob. No.	i	k	l	t	Optimal solution	CPU time(s)
1	1	1	1	10	414.64	0.11
2	1	1	1	50	2310.67	1.08
3	1	1	4	10	1706.03	0.10
4	1	1	4	50	9099.40	0.71
5	1	2	4	10	1243.15	0.05
6	1	2	4	50	8926.65	1.00
7	1	2	4	100	18998.74	10.35
8	3	2	4	50	28323.03	9.77
9	3	2	4	100	55056.09	20.32
10	10	2	11	50	84664.33	31.09
11	10	2	11	100	-	-
12	12	2	11	100	-	-

<Table 6>은 각 지연시간 $LA_i = 0.5, LB_i = 1.2, LC_k = 0.9$ 의 비정수 지연시간을 그대로 사용하였을 때와 이 비정수 지연시간에 대하여 내림과 올림을 한 후 생성된 모형을 GAMS로 수행하였을 때의 결과값을 이용하여 나온 계획량을 실제 지연시간에 맞추어 각 기간별 수요를 대처할 수 있도록 계산한 결과를 정리한 것이다. 3.1절에서와 마찬가지로 지연시간을 내림하여 모형에 적용한 경우는 재고수준이 낮은 반면 품질이 낮

이 발생하고 있음을 알 수 있다. 지연시간을 올림하여 모형에 적용한 경우는 필요 이상의 재고를 보유하고 있음을 알 수 있으며 이때 평균 재고수준은 70271.07개다. 제안모형을 통해 지연시간을 있는 그대로 적용한 경우에는 품질은 발생하지 않으며 평균 재고수준은 48993.42개다.

이 경우 제안모형을 적용한 경우와 지연시간을 내림하여 적용한 경우와 비교하면 품질이 없으므로 제안모형이 현저하게 좋다고 할 수 있으며, 지연시간을 올림한 경우의 평균 재고수준과 비교하면 약 43% $(=(70271.07-48993.42)/48993.42 \times 100)$ 정도 제안모형이 좋은 효율성을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안한 통합 생산/분배 모형은 지연시간을 정확하게 반영할 수 있는 모형이며, 기존의 지연시간을 올리거나 내리서 모형에 반영하는 방법보다 훨씬 좋은 계획량을 제시한다고 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 동적생산함수의 개념을 소개하고, 이를 이용하여 비정수 지연시간이 있는 경우의 통합 생산/분배 모형을 제시하였다. 이는 지연시간이 비정수인 경우를 정수로 만들기 위하여 반올림, 올림이나 내림을 통하여 지연시간을 처리하는 기존의 모형보다 더 효율적임을 확인하였다. 그리고 비정수 지연시간을 고려하는 경우 기존의 모형에서는 초과재고나 품질이 발생하였지만, 제안모형은 비정수 지연시간을 정확하게 반영함을 수치예제를 통하여 알 수 있었다. 이는 공급사슬 환경에서 발생할 수 있는 비정수 지연시간을 보다 정확하게 모형에 반영하여 지연시간을 제대로 반영하지 못하여 생기는 불필요한 비용을 감소시키는 것에 기여할 것으로 기대된다. 추후 연구과제로는 본 논문에서 제안한 통합 생산/분배 모형의 크기가 커졌을 때 모형의 해를 신속하고 정확하게 구할 수 있는 해법을 찾는 것이 필요하다.

참고문헌

- Brooke A, et al. (1998), GAMS A User's Guide, GAMS Development Corporation.
- Cachon, G., Fisher, M. (2000), Supply Chain Inventory Management and The Value of Shared Information, *Management Science*, **46**, 1032-1048.
- Chen, F. et al. (2000), Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information, *Management Science*, **46**, 436-443.
- Dasei A., Verter V. (2001), A Continuous Model for Production-Distribution System Design, *European Journal of Operational Research*, **129**, 287-298.
- Erengüç ŞS, Simpson NC, Vakharia AJ (1999), Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review, *European Journal of Operational Research*, **115**, 219-236.

Table 6. Inventory level and shortage of the integrated production/distribution model

i	k	l	t	Type of Product	leadtime rounded-down		leadtime rounded-up		Proposed model	
					Inventory	Shortage	Inventory	Shortage	Inventory	Shortage
1	1	1	10	1	28.91	7.06	163.85	0.00	111.51	0.00
				1	84.50	1.38	178.64	0.00	126.50	0.00
		4	10	1	149.72	22.06	670.15	0.00	452.38	0.00
		4	50	1	291.51	4.97	702.37	0.00	536.47	0.00
	2	4	10	1	203.02	19.72	487.15	0.00	328.13	0.00
		4	50	1	261.40	5.98	690.09	0.00	455.05	0.00
3	2	4	100	1	326.86	2.91	706.57	0.00	527.26	0.00
				2	326.86	2.91	706.57	0.00	527.26	0.00
				3	326.86	2.91	706.57	0.00	527.26	0.00
10	2	11	100	1	1021.47	8.14	4198.10	0.00	2748.81	0.00
				2	1520.50	10.68	4027.27	0.00	2636.89	0.00
				3	1577.11	12.66	3942.74	0.00	2827.85	0.00
				4	1577.11	12.66	3942.74	0.00	2827.85	0.00
				5	1412.77	9.93	4029.05	0.00	2919.87	0.00
				6	1487.45	10.97	4037.68	0.00	2971.01	0.00
				7	1487.45	10.97	4037.68	0.00	2971.01	0.00
				8	1058.60	5.65	4050.07	0.00	2774.97	0.00
				9	1722.94	14.44	4083.12	0.00	2774.97	0.00
				10	1230.63	12.16	3886.73	0.00	2639.02	0.00
12	2	11	100	1	583.28	3.75	2082.76	0.00	1363.62	0.00
				2	686.00	4.59	2004.24	0.00	1311.77	0.00
				3	788.56	6.33	1971.37	0.00	1413.92	0.00
				4	788.56	6.33	1971.37	0.00	1413.92	0.00
				5	676.27	4.76	2010.21	0.00	1434.36	0.00
				6	743.73	5.48	2018.84	0.00	1485.51	0.00
				7	743.73	5.48	2018.84	0.00	1485.51	0.00
				8	517.15	2.77	2031.23	0.00	1328.68	0.00
				9	861.47	7.22	2041.56	0.00	1387.49	0.00
				10	592.74	5.79	1953.18	0.00	1279.74	0.00
				11	906.71	7.89	2094.36	0.00	1457.36	0.00
				12	906.71	7.89	2094.36	0.00	1457.36	0.00

Escudero, L.F., Schumann (1999), A Modeling Framework for Supply Chain Management under Uncertainty, *European Journal of Operational Research*, **119**, 14-34.

Hackman ST, Leachman RC (1989), A general framework for modeling production, *Management Science*, **35**, 478-495.

Jayaraman, V., Pirkul, H. (2001), Planning and Coordination of

Production and Distribution Facilities for Multiple Commodities, *European Journal of Operational Research*, **133**, 394-408.

Lee, H., Padmanabhan, P., Whang, S. (1997), Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip effect, *Management Science*, **43**, 546-558.