

Analysis of Lead Time Distribution with Order Crossover

Gitae Kim[†]

Department of Industrial Management Engineering, Hanbat National University

교차주문을 갖는 리드타임 분포의 분석

김기태[†]

한밭대학교 산업경영공학과

In supply chain, there are a variety of different uncertainties including demand, service time, lead time, and so forth. The uncertainty of demand has been commonly studied by researchers or practitioners in the field of supply chain. However, the uncertainty of upstream supply chain has also increased. A problem of uncertainty in the upstream supply chain is the fluctuation of the lead time. The stochastic lead time sometimes causes to happen so called the order crossover which is not the same sequences of the order placed and the order arrived. When the order crossover happens, ordinary inventory policies have difficult to find the optimal inventory solutions. In this research, we investigate the lead time distribution in case of the order crossover and explore the resolutions of the inventory solution with the order crossover.

Keywords : Order Crossover, Lead Time Distribution, Stochastic Lead Time, Supply Chain Management, Optimization

1. 서론

한 제품에 대한 공급사슬에 많은 기업이 참여하면서 공급사슬의 복잡성은 증가한다. 복잡성이 커지는 것이 공급사슬의 위험을 줄일 수 있는 장점도 있지만 불확실성이 커지고 공급사슬의 제어를 힘들게 하는 단점도 갖고 있다. 공급사슬에서의 불확실성은 주로 최종수요자에 의한 수요의 불확실성이 주된 원인으로 작용하여 채찍효과 같은 문제를 일으켜왔다. 하지만 복잡한 공급사슬에서 불확실성을 일으키는 부분도 다양해지고 있다. 그 중에서 공급자에서 수요자로 보내지는 시간인 리드타임(lead time)에 대한 불확실성을 생각해 볼 수 있다.

리드타임의 불확실성은 리드타임이 일정하게 유지되지 않고 변한다는 것을 의미한다. 리드타임의 변화는 확률분포를 따를 수도 있고 확률분포를 따르지 않고 랜덤으로

변할 수도 있다. 본 연구에서는 많은 연구에서처럼 리드타임이 확률분포를 따른다고 가정한다.

리드타임이 변화하면서 수요자에서 주문한 재고가 예상된 시간보다 빨리 도착할 수도 있고 늦게 도착할 수도 있다. 주문이 연속해서 이루어지는 상황에서는 리드타임의 변화가 주문의 순서와 재고의 도착순서가 동일하지 않는 상황이 발생할 수 있다. 이렇게 주문순서와 도착순서가 바뀌는 현상을 교차주문(Order crossover)이라고 부른다. 교차주문은 공급사슬의 불확실성이 커지면서 발생빈도가 커진다.

교차주문이 발생하게 되면 주문과 도착의 순서가 바뀌기 때문에 재고관리에서 사용하고 있는 일반적인 재고정책들과 해법들을 적용하기 어려워진다. 우리가 많이 사용하는 기초재고(base stock) 전략이나 재주문점과 주문량을 구하는 재주문점 전략 등은 교차주문이 일어나지 않는다는 것을 가정하고 있다. 따라서 이들 재고전략들이 교차주문이 발생하는 상황에서는 최적의 전략을 찾기가 어려워진다.

Received 26 November 2021; Finally Revised 8 December 2021;
Accepted 9 December 2021

[†] Corresponding Author : gitaekim@hanbat.ac.kr

공급사슬에서 교차주문이 발생한 경우에는 도착순서가 바뀌기 때문에 리드타임에 대한 분포가 달라지는 것을 알 수 있다. 이 문제에 대한 연구는 주로 교차주문이 발생한 경우에 변경된 리드타임 분포가 어떤 성질을 갖는지와 어떻게 바뀌는지에 대한 연구가 주로 수행되어 왔다. 본 연구에서는 리드타임이 갖는 주요 분포들에 대해 교차주문이 발생한 경우에 대한 리드타임 분포가 어떤 분포가 되는지와 한 분포에서 파라미터가 변할 때 교차주문시의 리드타임 분포는 어떻게 변화되는지를 분석하였다.

기간 t 에 주문한 재고는 해당주문에 대한 리드타임을 l_t 라고 할 때, 도착시간은 기간 $t+l_t$ 가 된다. 기간이 $t+1$ 이 되어 다시 주문을 하고 이 주문에 대한 리드타임을 l_{t+1} 라고 하면 도착시간은 $t+1+l_{t+1}$ 이 된다. 교차주문이 일어나지 않을 때에는 $t+1+l_{t+1} > t+l_t$ 로 기간 t 에 주문한 재고가 $t+1$ 에 주문한 재고보다 먼저 도착하게 된다. 하지만 교차주문이 발생할 경우에는 $t+1+l_{t+1} < t+l_t$ 이 되어 $t+1$ 에 주문한 재고가 기간 t 에 주문한 재고보다 먼저 도착하게 되어 예상되는 재고보충과 다른 재고상태가 나타나게 된다. 이러한 상황에서 재고가 도착하는 순서에 따라 재고의 도착 순서를 재배열하고 이 순서에 따라 새로운 리드타임에 대한 분포를 찾는다.

본 연구에서는 공급사에서 수요자에 이르는 리드타임이 갖는 주요 확률분포를 대상으로 교차주문이 발생한 경우에 리드타임 분포가 어떻게 바뀌는지를 시뮬레이션을 통해 탐색해 보고 어떤 특징이 있는지를 파악한다. 또한 같은 리드타임 분포에 대해서도 파라미터의 변동이 교차주문 리드타임의 분포에 어떤 영향을 미치는지에 대해 분석을 수행한다.

기존의 선행연구에서는 교차주문으로 인한 리드타임을 한 분포를 따르는 것으로 결론을 내거나 평균값과 분산값의 비교를 통한 이론의 고찰을 주로 다루었다면, 본 연구에서는 리드타임이 갖는 주요 분포들에 대해 파라미터들의 변화에 따라 교차주문의 리드타임이 어떤 분포로 변화되는지에 대한 실증적 연구를 수행한다.

2. 선행연구

교차주문에 대한 연구는 1970년대에 Zalkind[10]에 의해 시작되었다고 볼 수 있다. Zalkind는 그의 연구에서 교차주문으로 인한 리드타임에 대한 확률분포를 유도하여 순서가 바뀐 리드타임이 평균과 분산에서 어떤 값으로 볼 수 있는지를 보여주었다.

Robinson et al.[7]는 교차주문이 일어나는 경우에 대해 재고가 고갈되는 분포에 어떻게 영향을 주는지에 대해 연구하였다. 이들의 연구에서 리드타임의 수요분포는 재고

고갈의 분포보다 변화량이 아주 크다는 것을 증명하여 보여주었다. 이 내용을 살펴보면 리드타임의 수요분포가 교차주문이 많이 일어나지 않는 경우에도 재고비용의 큰 변동을 초래한다는 것을 보여준다.

리드타임이 확률분포를 따를 때를 가정하여 교차주문이 일어날 때, 어떻게 바뀌는지에 대해 연구가 진행되었는데, 주로 가정한 리드타임의 분포는 정규분포, 감마분포, 지수분포, 포아송분포가 사용되었다[3, 4, 6, 9]. 주된 분포를 가정하여 평균은 원래의 분포와 같고 분산은 원래 분포의 분산보다 교차주문이 일어날 때의 분산이 더 작다는 것을 확인한다.

Hayya et al.[4]는 공급사슬에서 정규분포와 감마분포 리드타임을 가정 하였다. 교차주문일 때의 리드타임 평균은 원래 리드타임 평균과 같지만 분산은 더 줄어드는 사실을 이용하면 안전재고를 줄일 수 있다고 제안을 하였다. 그들은 또한 다른 연구에서 수요가 확률적인 경우와 리드타임이 확률적인 경우에 대해 분석을 하였는데, 수요와 리드타임이 독립이라고 가정하고 있다. 이러한 환경에서 재고유지비용과 고갈비용을 고려하여 비용에 대한 관점에서 교차주문의 영향을 분석 하였다. 또한 이들은 교차주문이 일어날 경우에 변경된 리드타임을 실질적 리드타임(Effective lead time) 이라는 용어를 사용하였다. 이들의 실질적 리드타임이라는 용어를 Jack et al.[6]의 연구에서도 사용되었다. 이들의 연구에서는 지수분포 리드타임인 경우에 교차주문이 일어나면 리드타임의 분산이 감소하는 것을 확인하였다. 또한 이들은 지수분포 리드타임의 평균과 분산을 줄이는 과정을 소개 하였다.

Disney et al.[2]는 교차주문이 있는 경우에 확률적 리드타임이 재고비용과 안전재고에 어떻게 영향을 주는지에 대해 연구를 하였다. 새로 제안한 재고정책이 교차주문 상황에서 기존의 재고정책에서 보다 재고 분산과 안전재고 측면에서 좋은 성과를 가져온다는 것을 보여주었다.

예측방법론을 이용한 연구도 있었는데, Wang and Disney[8]은 확률적 리드타임인 환경에서 시계열 예측방법인 AR(2)와 ARMA(1,1)을 이용해서 재고와 주문에 대한 분산을 동시에 줄이는 재고전략을 사용하는 것을 제안 하였다.

시뮬레이션을 이용한 연구도 있었는데, Chatfield and Pritchard[1]는 사건기반 이산형 시뮬레이션 모형을 통해 재고가 주기적인 주문과 (R, S) 재고전략 하에서 교차주문이 서비스 수준에 어떻게 영향을 주는지를 분석하였다.

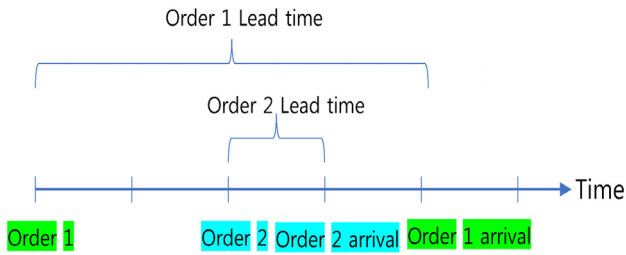
Yang and Lin[9]는 연속형 재고리뷰 전략인 환경에서 교차주문이 일어난 경우의 리드타임에 대한 확률분포를 결합확률분포(joint probability distribution)로 유도하여 표현하였다. 이들은 리드타임이 지수분포임을 가정하고 결합확률분포를 이용하여 분포를 구하고 최적재고전략을 제

안하였는데, 이들은 교차주문이 일어날 경우의 리드타임을 실제리드타임(Practical lead time)이라는 용어를 사용하였다. Giat [3]는 수요가 포아송분포임을 가정하고 교차주문이 일어나는 경우에 주문을 충족하는 비율을 성능지표로 시스템을 분석하였다.

3. 교차주문 문제

3.1 교차주문 문제

공급자에서 수요자까지의 리드타임의 변동이 주문 순서를 바꾸기에 충분할 경우에 주문한 순서와 도착순서가 다르게 되는 문제를 교차주문이라고 한다.



<Figure 1> Order Crossover

<Figure 1>과 같이 주문 1의 리드타임은 4, 주문 2의 리드타임은 1이고 주문 1보다 나중에 주문한 주문 2의 재고가 먼저 도착한 것을 볼 수 있다. 이러한 현상을 교차주문이라고 한다.

Time period	Lead time	Arrival time	Arrival order	Lead time by order
1	3.6	4.6	3.1	2.1
2	6.6	8.6	4.6	2.6
3	0.1	3.1	7.1	4.1
4	5.4	9.4	8.6	4.6
5	6.8	11.8	9.4	4.4
6	11.3	17.3	9.5	3.5
7	0.1	7.1	11.8	4.8
8	1.5	9.5	14.3	6.3
9	9.8	18.8	15.7	6.7
10	4.3	14.3	17.3	7.3
11	6.7	17.7	17.5	6.5
12	5.8	17.8	17.7	5.7
13	8.2	21.2	17.8	4.8
14	3.5	17.5	18.8	4.8
15	0.7	15.7	21.2	6.2

<Figure 2> Example of Order Crossover

<Figure 2>는 교차주문이 일어났을 때의 데이터를 보여준다. 주문시간대에 주문이 일어나고 각 주문시간대에 발

주한 주문에 대한 각각의 리드타임을 두 번째 열(리드타임)에서 보여준다. 이러한 리드타임과 주문시간대를 합한 것으로 도착한 시간이 계산되고 이것이 세 번째 열에 나타나 있다. 하지만 도착시간은 크기가 오름차순으로 정렬되어 있지 않은 것을 볼 수 있다. 이것은 교차주문이 발생한 것이다.

세 번째 열의 도착시간을 이제 오름차순으로 정렬을 하여 네 번째 열에 적어주어 도착순서라는 열을 만든다. 이것이 실제 시간 순으로 재고가 도착하는 시점이라고 볼 수 있다. 이 시간에서 주문한 시간을 빼면 마지막 열에 도착순서별 리드타임을 얻을 수 있는데, 이것이 교차주문으로 인해 생겨난 리드타임이라고 볼 수 있다. 이러한 리드타임을 선행연구에서는 실질적 리드타임(Effective lead time)이나 실제 리드타임(Practical lead time)이라는 용어로 사용하였다. 이 용어에 대한 원래 주문에서의 리드타임을 원래 리드타임(Original lead time)이나 부모 리드타임(Parent lead time)이라고 부르기도 한다.

3.2 교차주문에서의 리드타임 분포

교차주문이 일어난 경우와 일어나지 않은 경우에 대한 리드타임 분포의 관계는 아래와 같다 [10].

교차주문시 리드타임 평균

$$E[NL] = E[L] \tag{1}$$

교차주문시 리드타임 분산

$$V[NL] = E[L] - E[L^{1.2}] \tag{2}$$

여기서 NL 은 교차주문이 일어난 경우에 리드타임이고 L 은 교차주문이 없는 경우의 리드타임을 의미한다. $E[L^{1.2}]$ 은 리드타임 L 의 분포로부터 나온 크기가 2인 랜덤 샘플에서 나온 첫 번째 순서통계량을 나타낸다.

위의 식 (1)과 (2)에서 보면 교차주문이 있는 경우와 없는 경우에 평균은 동일하다는 것을 알 수 있다. 분산의 경우에는 다음의 관계가 성립된다.

$$V[NL] = E[L] - E[L^{1.2}] \leq V[L] \tag{3}$$

$E[L^{1.2}]$ 은 리드타임에 대한 순서통계량이기 때문에 0보다 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 $E[L] - E[L^{1.2}]$ 의 값은 $E[L]$ 보다 작음을 알 수 있고 이것은 교차주문 리드타임의 분산보다 작거나 같다. 이러한 결과로 분산의 경우에는 교차주문이 있는 리드타임의 분산이 교차주문이 없는 리드타임의 분산보다 작은 것을 알 수 있다.

4. 교차주문 리드타임 분석

4.1 교차주문 없는 리드타임 분포

교차주문이 없는 원래 리드타임의 분포는 지수분포, 감마분포, 정규분포를 가정하였다. 분포들의 내용은 아래 표와 같다.

<Table 1> Lead Time Distribution (Exponential)

Exp(λ)	Mean	Variance
0.1	10	100
0.2	5	25
0.4	2.5	6.3
0.6	1.7	2.8
0.8	1.3	1.6
1	1	1
1.2	0.8	0.7
1.4	0.7	0.5
1.6	0.6	0.4
1.8	0.6	0.3
2	0.5	0.3
2.2	0.5	0.2
2.4	0.4	0.2

주로 많이 사용하는 리드타임 분포는 지수분포로 <Table 1>에 있는 분포를 사용한다. 본 연구에서는 다양한 형태의 지수분포를 실험하기 위해 λ 의 값을 표에 있는 값들을 부여하였고 각 파라미터에 대한 평균과 분산 값을 나타내고 있다.

<Table 2> Lead Time Distribution (Gamma)

Gamma	Mean	Variance
G(4, 0.5)	2	1
G(4, 0.75)	3	2.25
G(4, 1.0)	4	4
G(4, 1.25)	5	6.25
G(4, 1.5)	6	9
G(4, 1.75)	7	12.25
G(4, 2.0)	8	16
G(4, 2.25)	9	20.25
G(4, 2.5)	10	25

<Table 2>는 감마분포의 리드타임 분포와 각 분포들에 서의 평균과 분산을 보여주고 있다.

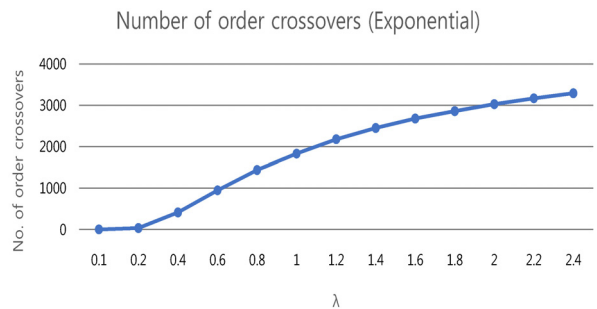
<Table 3>은 정규분포의 리드타임 분포와 각 분포들에 서의 평균과 분산을 보여주고 있다.

<Table 3> Lead Time Distribution (Normal)

Normal	Mean	Variance
N(3, 1.5)	3	2.3
N(3, 2.0)	3	4
N(3, 2.5)	3	6.3
N(3, 3.0)	3	9
N(3, 3.5)	3	12.3
N(3, 4.0)	3	16
N(3, 4.5)	3	20.3

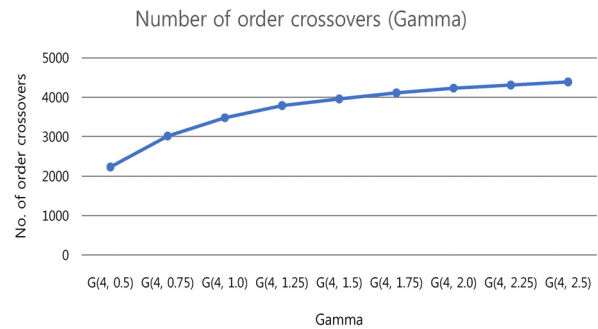
4.2 리드타임 분포에 따른 교차주문 수

원래 리드타임 분포의 파라미터 값에 따른 교차주문의 수를 찾는다. 실험은 C# 프로그래밍 언어로 구현하였고, 분포의 특성을 반영하기 위해 각 분포의 파라미터 당 시간대를 10,000 시간대(time periods)를 설정하고 실험을 진행하였고, 실험을 30번 반복하여 평균값으로 실험결과를 얻는다.



<Figure 3> Number of Order Crossovers for Exponential Distribution

<Figure 3>은 지수분포를 따르는 리드타임에 대해 파라미터 λ 값에 따라 교차주문이 발생하는 빈도를 보여준다.

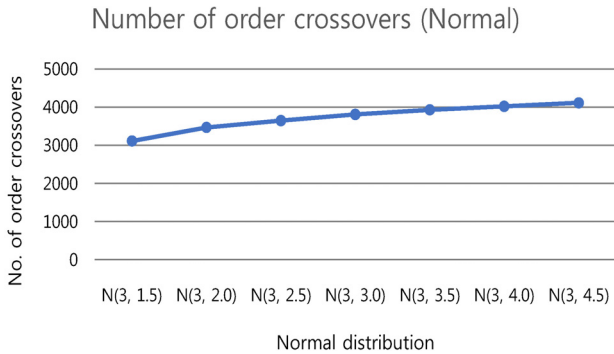


<Figure 4> Number of Order Crossovers for Gamma Distribution

<Figure 4>는 리드타임이 감마분포를 따른다고 가정한

경우에 파라미터의 값들에 따른 교차주문의 발생 수를 보여주고 있다.

이들 분포들과 함께 정규분포를 따르는 리드타임 분포인 경우의 결과는 다음과 같다.



<Figure 5> Number of Order Crossovers for Normal Distribution

<Figure 5>는 정규분포의 파라미터 값들의 변화에 따른 교차주문 수를 보여준다.

지수분포의 경우에 파라미터 λ 값이 증가하면서 평균과 분산의 값이 감소한다. <Figure 3>의 결과를 보면 평균과 분산 값이 감소하면서 교차주문의 수가 큰 폭으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 지수분포에서 도착간격이 줄어들면서 주문의 도착이 겹치는 상황이 더 많아지면서 발생한다고 볼 수 있다.

감마분포와 정규분포의 경우에는 파라미터값의 증가가 감마분포의 α 와 정규분포의 평균은 일정하고 분산이 증가하는 경우의 결과를 보여주고 있다. 감마분포의 경우에 분산이 증가 하면서 교차주문의 수도 증가하는 것을 볼 수 있다. 초기에 분산의 증가에 따라 큰 폭으로 교차주문도 증가를 했다가 그 이후에는 변화가 크지 않고 거의 일정한 수준을 유지하는 것을 볼 수 있다. 정규분포의 경우에는 분산의 증가가 교차주문의 수를 증가시키고 있지만 변동의 폭이 지수분포와 감마분포 보다는 완만한 증가형태를 보여주고 있다

지수분포, 감마분포, 정규분포의 실험결과에서 보면 초기에 리드타임의 분산의 변화가 큰 폭의 교차주문 수의 증가를 가져오다가 분산이 어느 수준 이상이 되면 교차주문의 수가 많은 변동을 보이지 않고 완만하게 값이 유지되는 것을 볼 수 있다.

4.3 교차주문 리드타임 분포

리드타임 분포가 세 가지의 종류의 분포를 갖는다고 가정할 때 각 종류의 확률분포에서 파라미터의 값에 따라

교차주문이 발생할 경우에 교차주문 리드타임의 분포는 어떤 형태를 갖는지를 찾는다.

실험은 제4.2절에서 얻는 데이터를 ARENA 시뮬레이션 소프트웨어의 Input Analyzer를 이용하여 데이터의 확률분포를 찾았다.

<Table 4> Lead Time Distribution with and Without Order Crossover (Exponential)

Lead time distribution	Order crossover lead time distribution
Exp(0.1)	LOGN(0.114, 0.133)
Exp(0.2)	GAMM(0.173, 1.23)
Exp(0.4)	GAMM(0.328, 1.24)
Exp(0.6)	3 * BETA(1.14, 4.39)
Exp(0.8)	4 * BETA(1.44, 5.66)
Exp(1)	WEIB(1.14, 1.5)
Exp(1.2)	WEIB(1.45, 1.79)
Exp(1.4)	NORM(1.41, 0.781)
Exp(1.6)	NORM(1.62, 0.844)
Exp(1.8)	NORM(1.82, 0.894)
Exp(2)	NORM(2.02, 0.956)
Exp(2.2)	NORM(2.23, 1)
Exp(2.4)	NORM(2.42, 1.07)

<Table 4>는 리드타임이 지수분포를 따를 때 파라미터의 변화에 따라 교차주문의 리드타임이 어떤 분포를 따르는지에 대해 보여준다.

<Table 5> Lead Time Distribution with and Without Order Crossover (Gamma)

Lead time distribution	Order crossover lead time distribution
G(4, 0.5)	7 * BETA(5.73, 14.3)
G(4, 0.75)	7 * BETA(6.57, 8.73)
G(4, 1.0)	0.24 + 8.76 * BETA(7.7, 10.3)
G(4, 1.25)	NORM(4.99, 1.1)
G(4, 1.5)	NORM(6, 1.26)
G(4, 1.75)	NORM(6.94, 1.35)
G(4, 2.0)	NORM(7.93, 1.44)
G(4, 2.25)	NORM(8.93, 1.48)
G(4, 2.5)	NORM(9.94, 1.62)

<Table 5>는 리드타임 분포가 감마분포를 따를 때 교차주문 리드타임이 어떤 분포를 따르는지를 나타낸다. 파라미터의 변동에 따라 분포가 달라지는 것을 볼 수 있다.

<Table 6>은 리드타임 분포가 정규분포를 따르는 경우에 교차주문 리드타임의 분포가 어떻게 바뀌는지를 보여준다.

<Table 6> Lead Time Distribution with and Without Order Crossover (Normal)

Lead time distribution	Order crossover lead time distribution
N(3, 1.5)	NORM(3.09, 0.85)
N(3, 2.0)	NORM(3.31, 0.964)
N(3, 2.5)	NORM(3.55, 1.04)
N(3, 3.0)	NORM(3.84, 1.14)
N(3, 3.5)	NORM(4.18, 1.2)
N(3, 4.0)	NORM(4.53, 1.25)
N(3, 4.5)	NORM(4.94, 1.31)

먼저 리드타임의 분포가 지수분포인 경우에는 λ 값이 작은 경우에는 교차주문의 리드타임은 로그정규분포(Lognormal distribution)를 따르는 것을 볼 수 있다. 그리고 λ 값이 증가하면서 감마분포를 따르다가 베타분포로 바뀌고 와이블 분포로 변형이 되면서 점점 형태가 정규분포로 변해서 값이 1.4 이후에는 정규분포를 따른다는 것을 볼 수 있다. 이것은 지수분포의 모수 파라미터 λ 가 증가하면서 즉, 평균과 분산이 감소하면서 분포가 감마에서 정규분포로 변화하는 것을 볼 수 있다. 그리고 교차주문의 리드타임 분포를 살펴보면, 분산이 증가하는 것을 알 수 있다. 리드타임 분포의 지수분포가 모수 파라미터의 값이 증가하면서 교차주문의 리드타임 분포는 정규분포로 바뀌고 분산이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

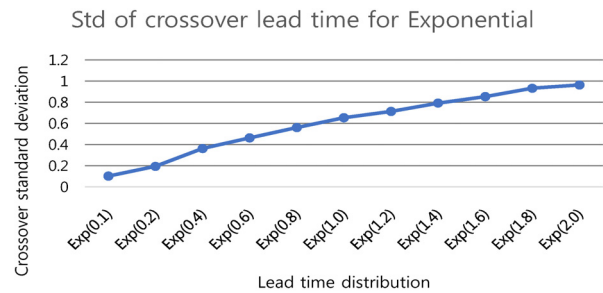
리드타임 분포가 감마분포인 경우에는 교차주문 리드타임의 분포가 파라미터의 β 값이 작은 경우에는 베타분포를 따르다가 값이 증가하면서 정규분포를 따르는 것을 볼 수 있다. 여기에서 감마분포의 β 값이 증가하면서 분산이 증가하는데, 이런 상황에서 교차주문 리드타임은 정규분포로 변화되어진다. 또한 리드타임 분포가 지수분포인 경우와 마찬가지로 교차주문 리드타임의 분포의 분산은 증가하는 것을 볼 수 있다.

마지막으로 리드타임 분포가 정규분포를 따르는 경우에는 교차주문 리드타임의 분포는 계속 정규분포를 따르는 것을 볼 수 있다. 이 경우에는 리드타임 분포의 평균은 일정하고 분산이 증가하는 경우에 교차주문 리드타임 분포는 같은 정규분포를 따르면서 평균도 증가하고 분산도 증가하는 것을 볼 수 있다.

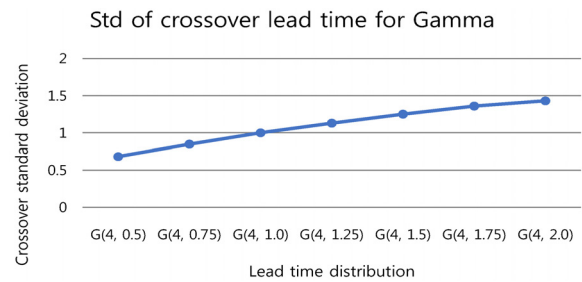
예를 들어, 교차주문 리드타임의 분포들의 표준편차의 형태를 보면 아래와 같다.

실험결과에서 볼 수 있듯이, 리드타임의 분포가 지수분포, 감마분포, 정규분포를 따르는 경우에 공통적으로 분포의 분산이 커지면 교차주문의 수가 증가하는 것을 알 수 있다. 지수분포의 경우에는 모수가 커지면서 분산 값은 감소하지만 확률분포의 형태는 기울기가 가파르게 상승하는

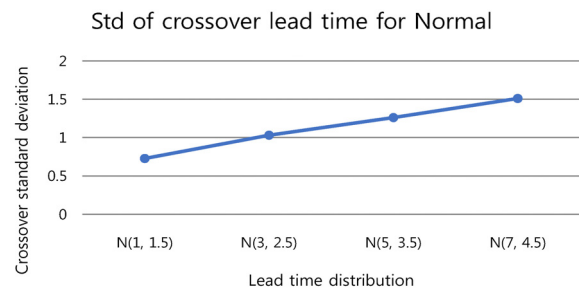
형태를 취하고 있어 감마분포와 정규분포에서 분산이 증가하는 상황과 유사하기 때문에 교차주문 리드타임의 분포가 λ 가 증가하면서 분산이 커지는 경향을 보이고 있다. 또한 지수분포, 감마분포는 분산이 작은 경우에는 초기에 로그정규분포와 감마분포를 따르거나 베타분포를 따른다. 리드타임의 분산이 증가하면서 교차주문 리드타임의 분포는 정규분포로 변화되어진다. 정규분포를 따르는 리드타임 분포의 경우에는 교차주문 리드타임의 분포도 정규분포를 따르는 것을 볼 수 있다. 따라서 리드타임 분포가 지수분포, 감마분포, 정규분포를 따르는 경우에 분산이 증가하면서 교차주문 리드타임은 정규화가 되어간다고 볼 수 있다. 또한 리드타임 분포의 분산이 증가하면서 교차주문 리드타임도 역시 증가하는 것을 확인할 수 있다.



<Figure 6> Standard Deviation of Crossover Lead Time for Exponential Distribution



<Figure 7> Standard Deviation of Crossover Lead Time for Gamma Distribution



<Figure 8> Standard Deviation of Crossover Lead Time for Normal Distribution

5. 결 론

공급사슬의 복잡성과 불확실성은 리드타임에 대한 변동을 증가시킨다. 공급사슬에서 재고정책을 통해 최적의 재주문점과 주문량을 결정하는 것은 중요한 물류정책 중에 하나이다. 하지만 리드타임의 변동과 불확실성으로 인해 재고의 주문순서와 도착순서가 바뀌는 교차주문이 발생할 수 있다.

교차주문의 발생은 일반적인 재고정책에서 최적해를 찾는 것을 방해해서 재고관리에 어려움을 가져올 수 있다. 따라서 교차주문을 고려한 재고정책의 개발이 중요한 문제가 된다. 본 연구에서는 교차주문이 발생하는 경우에 원래의 리드타임 분포가 어떻게 새로운 분포로 바뀌는지에 대해 시뮬레이션을 통해 살펴봤고 리드타임 분포가 지수 분포, 감마분포, 정규분포를 따를 경우에 교차주문 리드타임 분포는 초기에 로그정규, 감마, 베타 분포를 따르다가 분산이 커지면서 정규분포로 변화되는 과정을 볼 수 있었다. 또한 리드타임 분산이 증가하면서 교차주문 리드타임 분포의 분산도 함께 증가하는 것을 확인했다. 이러한 추세를 나타내는 특성을 파악하는 것은 교차주문이 일어날 때, 어떻게 재고관리 정책을 변경하고 제어할지에 대한 가이드라인을 제시하는 주요 포인트를 제공할 수 있다. 향후에는 교차주문 리드타임의 분포에 맞는 재고정책을 개발하여 일반적으로 사용하는 재고정책과 구별되는 교차주문을 위한 재고정책을 개발할 필요가 있다.

References

- [1] Chatfield, D. C. and Pritchard, A. M., Crossover aware base stock decisions for service-driven systems, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2018, Vol. 114, pp. 312-330.
- [2] Disney, S. M., Maltz, A., Wang, X., and Warburton, R. D., Inventory management for stochastic lead times with order crossovers, *European Journal of Operational Research*, 2016, Vol. 248, No. 2, pp. 473-486.
- [3] Giat Y., The Window Fill Rate in a Multiple Location Inventory System with Periodic Review and Order Crossover, *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management (IJIEOM)*, 2020, Vol. 2, No. 1, pp. 14-23
- [4] Hayya, J. C., Bagchi, U., Kim, J. G., and Sun, D., On Static Stochastic Order Crossover, *International Journal of Production Economics*, 2008, Vol. 114, No. 1, pp. 404-413.
- [5] Hayya, J. C., Bagchi, U., and Ramasesh, R., Cost relationships in stochastic inventory systems: A simulation study of the (S, S-1, t=1) model, *International Journal of Production Economics*, 2011, Vol 130, No. 2, pp. 196-202.
- [6] Jack, C., Hayya, J. C., Harrison, T. P., and He, X. J. The impact of stochastic lead time reduction on inventory cost under order crossover, *European Journal of Operational Research*, 2011, Vol. 211, pp. 274-281.
- [7] Robinson, L. W., Bradley, J. R., Thomas, L. J., Consequences of Order Crossover Under Order-Up-To Inventory Policies, *Manufacturing & Service Operations Management*, 2001, Vol. 3, No. 3, pp. 175-271.
- [8] Wang, X. and Disney, S. M., Mitigating variance amplification under stochastic lead-time: The proportional control approach, *European Journal of Operational Research*, 2017, Vol. 256, pp. 151-162
- [9] Yang, C. C. and Lin, D. K., Stochastic lead time with order crossover, *Quality Technology & Quantitative Management*, 2018, pp. 575-587.
- [10] Zalkind, D., Order-level inventory systems with independent stochastic lead times, *Management Science*, 1978, Vol. 24, No. 13, pp. 1384-1392.

ORCID

Gitae Kim | <https://orcid.org/0000-0001-7522-2888>