

칸반시스템에서 수요와 도착간격 변동에 따른 컨테이너 크기에 관한 시뮬레이션 연구

A simulation study of container size based on the variance of demand and interarrival time in Kanban systems

손 권 익* 함 성 호**
Sohn, Kwon-ik Ham, Sung-Ho

Abstract

The purpose of this paper is to study the effects of container size with multi-stage and multi-item on average inventory and customer service level in Kanban systems. We use the different distributions of demand and interarrival time for each item to show that we had better to change the container size depending on different type of item for this simulation study. The small lot size can be used for container size of a single item if there is no setup time. The container size should be identical with average order size as setup time increases. The fill rate increases if the container size is large with multi-item. However, it is difficult to establish the effective container size because the effects of the container size on the order queue time are not clear. It is suitable to use the average order size as the container size for each item if the variance of demand and interarrival time of each item is relatively small. It is effective to use the average container size if the variance of them is relatively large.

키워드 : 적시생산, 칸반시스템, 시뮬레이션

Keywords : JIT Production, Kanban System, Simulation

1. 서론

도요타(Toyota)에서 만들어진 적시생산시스템(Just-In-Time system)은 꼭 필요한 물자를, 필요한 양만큼, 필요한 장소에서, 필요한 시간에만 생산하고 유지한다는 목표 하에서, 생산활동에서 발생하는 모든 낭비적인 요소를 체계적으로 제거해 나가고자 하는 경영철학이다. 이러한 목표를 달성하기 위한 통제 수단으로 일종의 카드(card)인 칸반(Kanban)이 사용되어지며, 작업현장통제 측면에서 Pull시스템으로 분류되어질 수 있다. JIT 생산환경에서 단계별 배취 생산과 이동 등은 칸반들을 통해 통제되어진다.

칸반은 꼭 필요할 때 제조하기 위한 원자재를 요구하는 기술로 부품의 운반과 생산을 위한 정보 전달 수단으로 사용된다. Two-card 칸반시스템에서 재고는 표준 컨테이너에 담아서 옮겨지게 된다. 컨테이너에 부착된 칸반들은 부품형태와 수량에 대한 정보를 지니게 되고 생산 칸반(production kanban)과 인출 칸반(withdrawal kanban)으로 나뉘게 된다.

오늘날, Two-card의 이용 또는 이와 대응되는 시스템들은 반복적인 제조환경에서 더욱 폭 넓게 퍼지게 되었다. Two-card 칸반시스템은 다 품목을 지닌 환경에서, 주기적인 자재취급(material handling)과 품목들에 따른 재고를 통제하게 된다. Two-card 칸반시스템에서 각 작업장은 입력 대기과 출력 대기를

* 강원대학교 산업공학과 교수, 공학박사

** 강원대학교 대학원 산업공학과 석사과정

가지고 있다. 생산과 인출 칸반들은 입, 출력 대기를 가지고 있는 각 작업장에서 요구된 부품을 채우는 컨테이너 단위의 총 수를 제한하여 재고를 통제하게 된다. 따라서 총 재고량은 컨테이너 크기와 칸반의 수를 조절함으로써 결정되어진다.

생산 통제에 관한 칸반 논문들은 대부분 정해진 생산률(production rate)과 봉사수준(service level)을 달성하기 위해 칸반의 수를 설정하는 것에 주요한 초점을 맞추고 있다. 컨테이너 크기에 초점을 맞춘 Berkley의 연구는 다 품목 형태를 처리하는 Two-card 칸반시스템에서 모든 품목에 동일한 컨테이너 크기, 준비시간, 완제품 주문크기 분포, 주문도착간격, 처리시간을 적용하여 재고수준과 봉사수준의 영향을 조사하여, 효과적인 컨테이너 크기와 칸반 수를 설정하려고 하였다.[1] 그러나, 실제 품목별 수요 및 주문도착간격 등은 품목간 뚜렷한 차이가 존재할 수 있다. 따라서, 본 연구는 품목별 수요와 주문도착간격을 비율적으로 서로 다르게 적용하여 컨테이너 크기의 영향을 조사하고, 이에 따른 평균 재고와 봉사수준의 효과를 분석하여 각 품목별 수요에 대해 가장 효과적인 컨테이너 크기를 설정하고자 한다.

2. 기존 연구 및 실험개요

칸반시스템에 관한 시뮬레이션 연구는, 보통 칸반의 수와 컨테이너 크기를 주요한 논제로 다룬다. 연구결과 컨테이너 크기가 크면 평균 재고량이 증가한다는 것이다. 하지만 평균 봉사수준은 반대의 결과가 나온다.[2]

Berkley는 품목별 동일한 수요와 주문도착간격을 유지하면서 평균 재고와 봉사수준의 효과를 조사하여 최적의 컨테이너 크기와 칸반 수를 설정하고자 연구하였다.[1] 컨테이너 크기가 작아질수록 평균 재고들은 작아지게 된다. 하지만 봉사수준은 컨테이너 크기가 작을수록 낮아지지 않는다. 봉사수준의 변동은 컨테이너 크기 변화에 따라 일정하지 않음을 보여준다. 이 논문에서는 커다란 컨테이너 크기는 완제품 주문크기가 작게 분포한 것에서는 적절하지 못함으로, 컨테이너 크기를 완제품 주문의 평균크기까지 감소시킴으로써 기대 총 재고수준을 감소시킬 수 있고, 또한 기대 봉사수준을 향상시킬 수 있다고 하였다.

Yavuz와 Satir는 Two-card 칸반 하에서 운영되는 다 단계, 다 품목 시스템에 관한 연구로 품목마다 다른 공정시간을 적용하여 실험하였다. 그 결과 랫(lot)

크기가 감소되면 재공품 재고 내에서 평균 대기시간과 주기가 감소하는 것을 보여준다. 준비시간(setup time)의 영향으로 랫 크기가 작아지면 평균수요 리드타임이 더 길어져서 고객봉사수준을 감소시킨다고 관찰된다.[3]

Krajewski는 이산적인 제조환경에서 MRP(Material Requirements Planning)와 단일카드 칸반 그리고 ROP(ReOrder Point)시스템에 대해 시뮬레이션 연구를 수행하였다. 칸반은 컨테이너 크기와 준비시간에 매우 민감하다는 것을 알았다. 준비시간과 랫 크기를 줄이는 것은 재고수준을 낮추고 고객봉사수준을 향상시키는 효과적인 방법이다.[4]

Abdou와 Dutta는 컨테이너 크기의 효과와, 칸반의 수, 자재취급빈도, 재고유지, 기계이용 비용의 효과를 연구하였다. 다 단계에서 다 품목을 생산하는 Two-card 칸반시스템에 대한 시뮬레이션 결과는 비용을 최소화하는 컨테이너 크기는 자재취급 빈도와 칸반의 수가 증가하는 것에 대하여 감소한다는 것을 보여준다.[5]

본 논문은 Berkley의 논문[1]에서 다루었던 다 품목을 생산하는 다 단계 체계에서 모든 품목에 동일한 컨테이너 크기와 수요량을 사용한 것에 대하여 차이점을 두고자 한다.

첫 번째, 단일 품목과 다 품목을 생산하였을 경우의 고객봉사수준과 재고량의 변화를 다룬다. 단일 품목으로 생산할 때 최적의 컨테이너 크기를 먼저 알아보고 다 품목에서 단일 품목일 때와 비교하여 컨테이너 크기의 변화를 살펴본다. 단일 제품을 제조할 경우는 준비시간을 고려하지 않는 경우와 준비시간을 고려한 경우로 나누고, 다 품목을 생산할 경우 부품이 바뀔 때마다 준비시간이 요구되고 동일 품목일 경우는 준비시간을 고려하지 않는다. 이는 준비시간이 재고량과 봉사수준에 대해 미치는 영향을 알아보고 더 효과적인 최적 컨테이너 크기가 어딘가를 알기 위한 것이다.

두 번째, 전체 수요는 일정하게 유지되게 하면서, 품목간 수요의 크기와 분산 크기의 차이를 두어 각 품목에 대하여 동일한 컨테이너 크기를 사용하는 경우와, 각각의 평균 컨테이너 크기를 사용하는 경우 어떤 컨테이너 크기가 보다 효과적이냐에 대해 조사한다. 보통은 수요에 맞는 컨테이너 크기를 사용하는 것이 효과적일 수 있지만 수요에 대한 분포의 변동(variance)이 클 경우도 이런 방법이 유효한지 살펴본다.

마지막으로 주문도착간격과 최적 컨테이너 크기와

의 관계를 고려한 기존 연구에서는 동일한 주문도착 시간(order interarrival time) 분포를 가진 부품에 대해서만 연구하였다. 그러나 실제 작업현장에서 발생할 수 있는 주문들은 품목마다 다른 주문시간을 가질 수 있다. 서로 다른 주문간격을 갖는 품목에서 동일한 컨테이너를 사용할 때와 주문크기 분포에 맞는 컨테이너 크기를 사용할 경우를 실험한다.

3. 실험 디자인

3.1 시뮬레이션 모델

수요 형태와 주문도착간격에 따른 컨테이너 크기의 효과를 검증하기 위해, 단일 기계를 가진 일련의 6개의 작업장을 모델링하였다. 시뮬레이션 언어로는 SIMAN[6]을 사용하였고, 모델은 이산 사건을 가진 것으로 간주한다. 작업장 i 는 작업장 $(i-1)$ 에서 재료를 인출하고 청구된 재료는 다음 작업장에서 소요된다. 모든 작업장에 있는 재고량은 부품에 상관없이 총 200개가 유지되도록 정하고, 컨테이너 크기는 수요 변화에 따른 효과를 검증하기 위해서 평균 컨테이너 크기를 사용하는 경우와 주문크기에 맞게 사용하는 경우로 설정한다. 준비시간은 단일 품목을 생산하는 경우 $N(0.1, 0.3)$ 의 준비시간을 가정하고 다 품목에서는 부품의 형태가 바뀔 때만 적용되며 $N(1, 0.3)$ 인 정규분포로 가정한다. 컨테이너 가공시간은 단위 부품 당 0.1시간이 걸린다.

작업장 i 에서 작업 우선 순위는 FIFO규칙을 따르고, 각각 인출 칸반은 작업장 $(i-1)$ 로 이동하여 주문된 부품의 형태와 같은 컨테이너를 작업장 i 로 가져와서 가져온 양만큼 생산하게 한다. 마지막 작업장에 들어오는 주문은 처음 주문이 만족된 후에 다음 주문이 들어가도록 프로그램을 통제하였다. 이는 재고 잔여량이 컨테이너 크기보다는 작게 하기 위해서이다. 인출 칸반이 움직이는 데 걸린 실제시간은 0으로 간주한다. 즉, 컨테이너가 완성되어지면 즉시 다음 작업장으로 이동된다.

첫 번째 작업장에 제품을 제조하기 위해서 들어오는 원자재(raw material)는 무한하다고 가정하고, 각 부품 형태에 대한 완제품 주문은 마지막 작업장에 도착한다. 각 부품 형태에 대한 완제품 주문의 도착 간격들은 지수분포를 따른다. 완제품에 대한 주문크기 분포들은 정규분포를 따르고, 부품별 주문크기 분포는 두 가지 형태로 나뉜다. 첫 번째는 부품 형태에 관계없이 동일한 주문크기 분포를 가지는 경우와 두 번째는 부품마다 다른 주문크기 분포를 갖는 경우이

다. Two-card 칸반시스템에 대한 흐름도(flow diagram)는 그림 1과 같다.[7]

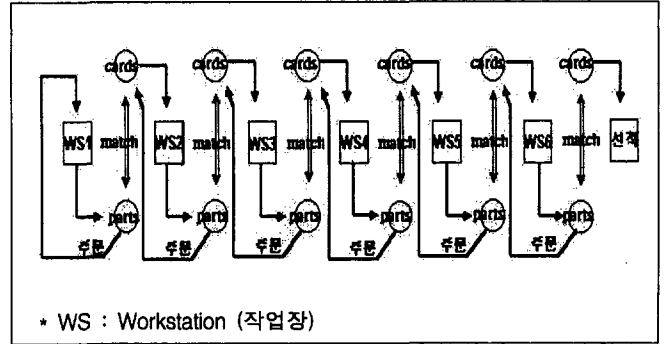


그림 1. Two-card 칸반시스템에 대한 흐름도

마지막 작업장에 주문이 들어오면 마지막 출력 대기에서 기다리고 있는 컨테이너에 가지고 있는 부품 중 주문과 형태가 같은 부품이 주문량이상 있으면 선적되어져 나가고 주문을 충족하지 못하게 되면 그 이전 작업장으로 주문하게 된다. 이와 같은 작업을 반복하게 됨으로써 pull시스템의 흐름을 순환시키게 된다. 첫 번째 작업장에서는 원자재를 계속해서 공급함으로써 이런 순환관계를 계속 유지시킨다.

3.2 수행도 평가

작업은 크게 평균 재고수준과 평균 봉사수준 2가지를 측정한다. 우선 평균 재고수준에서 보면 재공품 재고(in-process inventory)는 첫 번째를 제외한 모든 작업장에서 입력 대기(input queue)에 있는 부품들의 수와 마지막 작업장을 제외한 모든 작업장의 출력 대기에 있는 부품의 수를 더한다. 완제품 재고는 마지막 작업장의 출력 대기에 있는 부품의 수이다. 이는 채워진 컨테이너(full container)들과 잔여 재고들이다. 총 재고는 재공품 재고와 완제품 재고를 합한 것이다.

두 번째 고객봉사수준은 주문만족률(fill rate)과 주문대기시간(order queue time)으로 측정한다. 주문만족률은 주문이 도착해서 바로 만족하면 1이고 바로 만족하지 못하고 부품을 생산하기 위해서 이전 단계로 보내지면 0이 된다. 주문대기시간은 주문이 도착해서 완전히 만족될 때까지 걸리는 시간이다. 주문이 재고로 부터 바로 만족되면 주문대기시간은 0이 된다. 보통 주문만족률이 높고 주문대기시간이 짧으면 고객봉사수준이 더 높게 된다.

3.3 실험요소

컨테이너 크기와 칸반의 수는 첫 번째 실험요소로, 함께 변화시켜 재공품 재고의 양을 일정하게 유지시킨다. 기본 컨테이너 크기는 100, 50, 25, 20, 10으로 한다. 이는 두 개의 부품에 대한 평균 컨테이너 크기를 나타낸다. 컨테이너 크기가 100, 50, 25, 20, 10일 때 각 작업장들은 각각의 부품에 대하여 1, 2, 4, 5, 10개의 생산 칸반을 가지며 각 작업장 사이를 순환하는 인출 칸반들도 1, 2, 4, 5, 10개를 가진다. 하지만 부품별 서로 다른 컨테이너 크기를 허용하는 경우는 컨테이너 크기를 평균 주문크기에 맞춘다. 예를 들어, 주문이 부품의 형태에 따라 변할 때 주문 크기 분포가 부품 A는 N(120,24)이고 부품 B는 N(80,16)일 때 컨테이너 크기는 표 1과 같다.

표 1. 주문크기 분포에 대한 컨테이너 크기의 변화

주문크기 분포		칸반 수	컨테이너 크기	
부품 A	부품 B		부품 A	부품 B
N(120, 24)	N(80,16)	1	120	80
		2	60	40
		4	30	20
		5	24	16
		10	12	8

이와 같이 부품별 서로 다른 컨테이너 크기를 허용하는 경우 주문크기의 평균에 맞춰 컨테이너 크기를 유지한다. 위와 같은 컨테이너 크기들은 각 작업장에서 평균 재고수준을 200으로 유지하기 위함이다. 컨테이너의 공정시간은 100개의 컨테이너 크기에 대해 N(10,3)의 공정시간을 기준으로 다른 컨테이너 크기의 경우는 다음과 같은 식(1)처럼 계산한다.

$$N\left(\frac{\text{컨테이너 크기}}{10}, \frac{3}{\text{칸반 수}}\right) \quad (1)$$

재공품 재고는 모든 작업장에서 일정하게 유지되지만, 완제품에 대한 재고량은 일정하게 유지되지 못한다. 그 차이점은 컨테이너 크기에 의해서 마지막 작업장에 남는 완제품 재고의 잔여 재고 때문이다. 잔여 재고량은 항상 컨테이너 크기보다는 작다. 만일 컨테이너 크기가 100이면 잔여 재고의 최대는 99단위까지 가질 수 있어, 완제품 재고는 199단위까지 가질 수 있다. 주문크기 분포는 정규분포를 가진다고 가정하였고 부분적인 선적은 불허한다. 만일 완제품 재고가 주문을 만족시키지 못할 경우에는 부족분은

제조되어 만족시키게 된다.

생산배치크기는 다음의 식(2)에 의해서 결정된다.[1]

$$\text{배치크기} = \left\| \frac{\text{완제품 주문크기}}{\text{컨테이너 크기}} \right\| \times \text{컨테이너 크기} \quad (2)$$

여기서 $\|x\|$ 는 x보다 같거나 큰 가장 작은 정수.

완제품 수요들은 주문크기 분포와 주문도착간격 분포에 대한 차이에 의해 결정된다. 평균 주문크기는 모든 부품에 동일한 경우와 동일하지 않는 경우로 나누며, 이는 주문이 서로 다를 경우 평균 컨테이너 크기를 사용하는 경우와 주문의 크기에 맞게 사용하는 경우 어느 경우가 더 효과적인가를 실험하기 위해서이다. 표 2와 같이 주문크기 분포를 가정한다.

표 2. 주문크기 분포에 대한 입력자료

두 개의 부품에 대한 평균 주문크기	두 개의 부품에 대한 평균 분산크기	부품 형태	주문크기 분포		
			부품 A	부품 B	부품 C
100	5	부품A	N(120,6)	N(140,7)	N(160,8)
		부품B	N(80,4)	N(60,3)	N(40,2)
	10	부품A	N(120,12)	N(140,14)	N(160,16)
		부품B	N(80,8)	N(60,6)	N(40,4)
	20	부품A	N(120,24)	N(140,28)	N(160,32)
		부품B	N(80,16)	N(60,12)	N(40,8)
	40	부품A	N(120,48)	N(140,56)	N(160,64)
		부품B	N(80,32)	N(60,24)	N(40,16)
50	2.5	부품A	N(60,3)	N(70,3.5)	N(80,4)
		부품B	N(40,2)	N(30,1.5)	N(20,1)
	5	부품A	N(60,6)	N(70,7)	N(80,8)
		부품B	N(40,4)	N(30,3)	N(20,2)
	10	부품A	N(60,12)	N(70,14)	N(80,16)
		부품B	N(40,8)	N(30,6)	N(20,4)
	20	부품A	N(60,24)	N(70,28)	N(80,32)
		부품B	N(40,16)	N(30,12)	N(20,8)

컨테이너 크기가 동일한 경우 N(50,2.5), N(50,5), N(50,10), N(50,20), N(100,5), N(100,10), N(100,20), N(100,40)과 같은 주문크기 분포로 가정한다. 또한 주문도착간격이 각각 다를 때, 각 부품에 대한 주문 크기 분포는 표 3에 나타나 있다.

주문크기 분포에 대한 설정은 컨테이너 크기가 동일한 부품일 경우를 기준으로 비례하여 설정하였다. 예를 들면, 두 개의 부품 형태가 동일한 컨테이너 100단위를 사용할 경우, 이를 기준으로 부품 A쪽은

주문이 더 큰 경우를 가정하여 120, 140, 160으로 비례하여 설정하였고, 부품 B쪽은 각각 80, 60, 40으로 설정하였다. 이런 가정들은 각 작업장에서 재공품 재고량을 200으로 설정하기 위해서이다. 시뮬레이션 운용 중에 나타나는 주문량의 크기가 1미만의 값을 가지면 이는 1로 한다.

자주 셋업을 하기 때문이다. 결과적으로, 전체 사용된 시간에서 컨테이너에 부품을 채우기 위해서 사용되는 공정시간 비율이 적게 되는 것이다. 일반적으로 컨테이너 크기가 줄어들면 재공품 재고는 조금 줄어들지만, 약간 증가하는 몇 가지 경우도 있다.

표 3. 주문도착간격에 대한 입력자료

평균 주문 크기	평균 분산 크기	부품 형태	주문도착간격			
			주문크기 분포			
100	5	부품A	N(100,5)	N(120,6)	N(140,7)	N(160,8)
		부품B	N(50,2.5)	N(40,2)	N(30,1.5)	N(20,1)
	10	부품A	N(100,10)	N(120,12)	N(140,14)	N(160,16)
		부품B	N(50,5)	N(40,4)	N(30,3)	N(20,2)
	20	부품A	N(100,20)	N(120,24)	N(140,28)	N(160,32)
		부품B	N(50,10)	N(40,8)	N(30,6)	N(20,4)
	40	부품A	N(100,40)	N(120,48)	N(140,56)	N(160,64)
		부품B	N(50,20)	N(40,16)	N(30,12)	N(20,8)

주문도착간격 시간에 대한 분포는 지수분포를 가정하며 평균 주문크기가 100, 50일 때 각각 평균 37, 18.5 시간을 사용한다. 이렇게 하여 평균 주문크기와 도착간격의 크기를 일정한 비율로 조절하여 주어진 시간 동안의 총 주문량을 비슷하도록 하였다.

이 논문에서 시뮬레이션 시간은 50만 시간을 사용하는데 처음 준비시간은 15만 시간까지, 나머지 35만 시간에 대하여 공정에 대한 통계량을 구하였다.

4. 실험결과 및 분석

표 4부터 10까지 각 작업측정에 대한 평균이 주어졌다. 표의 행들은 5개의 평균 컨테이너 크기들과 일치하는 것이다. 예를 들어, 첫 번째 행은 부품의 평균 주문크기가 100에 해당되는 것을 나타낸다. 각 부품 형태는 각 작업장에서 하나의 생산 칸반과 작업장 사이를 이동하는 인출 칸반을 가지고 있다. 테이블 상단의 두 행은 각각 완제품 수요의 도착간격과 주문크기 분포를 나타낸다.

4.1 재고수준

재공품 재고는 일정하게 유지되도록 통제하였지만, 표 4~10에 나타난 결과는 컨테이너 크기가 작을수록 평균 재공품 재고량은 조금 감소되는 것을 볼 수 있다. 이는 컨테이너가 작을수록 부품 형태에 따라

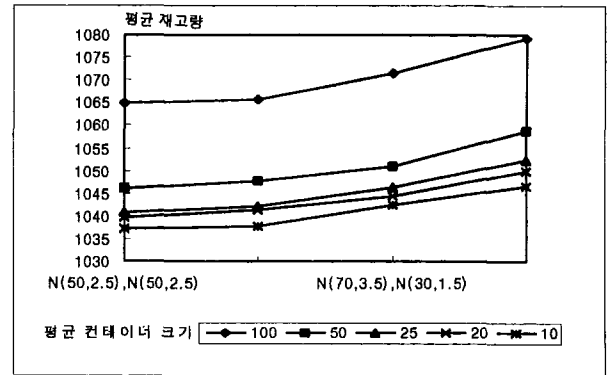


그림 2. 주문크기에 맞는 독립적인 컨테이너 크기를 사용할 경우 재공품 재고량의 변화

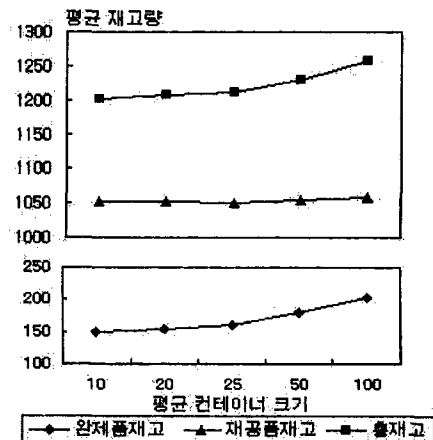


그림 3. 주문크기 분포 N(100,5) 일 때 평균 재고수준의 변화

그림 2는 표 6에 왼쪽에 있는 결과에서 주문도착간격의 분포가 Exp(18.5)일 경우 주문크기에 맞는 컨테이너를 사용하는 경우의 재공품 재고의 변화를 보여준다. 컨테이너 크기가 크면 재공품 재고는 커지고 또한 부품별 주문량의 변화가 커질수록 즉 부품에 대해 각각 N(60,3), N(40,2)의 주문크기 분포를 가진 것과 N(70,3.5), N(30,1.5)의 주문크기 분포를 가진 컨테이너 크기일 때 후자의 것이 재공품 재고가 더 많아진다. 이는 더 큰 컨테이너 크기에 영향을 받기 때문에 40과 30의 컨테이너 크기의 차이보다는 60과 70의 컨테이너 크기의 차이에서 나타나는 재공품 재

고량이 더 많기 때문이라 볼 수 있다. 표 9 와10에 있는 결과에서 보듯이 부품에 따라 주문도착간격 분포가 다를 경우에서도 주문크기 분포의 차이가 증가할수록 재공품 재고량은 증가한다.

평균 완제품 재고량은 컨테이너 크기가 클수록 완제품에 대한 평균 재고 잔여량이 더 많기 때문에 더 증가하게 된다.(표 4~10) 따라서 총 평균 재고량도 평균 완제품 재고의 영향을 주로 받아 컨테이너 크기가 커질수록 증가한다. 그림 3은 표 7의 주문크기 분포가 N(100,5)인 경우, 컨테이너 크기 변화에 따른 완제품 재고, 재공품 재고, 총 재고를 나타내었다.

4.2 봉사수준

고객봉사수준은 주문만족률과 주문대기시간으로 측정하였다. 평균적인 주문만족률은 주문크기가 더 크고 분산이 클 경우 만족하는 비율이 더 작아진다. 예를 들어, 평균 컨테이너 크기가 100일 때, 표 6과 8에서, 주문크기 분포가 N(50,5), N(100,20), N(100,40)이면 주문만족률은 각각 0.89364, 0.58752, 0.56076이다. 일반적으로 컨테이너 크기가 작아지면 주문 만족률은 더 작게 된다. 이는 컨테이너 크기가 클수록

완제품에 대한 재고량이 많아지게 되기 때문에 주문을 만족할 확률이 높아지게 되기 때문이다. 하지만 일부에선 예외의 경우도 나타난다. 그림 4에는 컨테이너 크기에 따른 주문만족률이 나타나 있다. 부품별 주문크기 분포에 변동이 있을 경우, 대개 수요에 맞는 컨테이너 크기를 사용할 때가 평균 주문크기의 컨테이너를 사용하는 경우보다 더 좋은 주문만족률을 나타내었다. 하지만 주문크기에 대한 분산이 커질수록 평균 컨테이너 크기를 사용할 경우 주문만족률이 더 좋게 나타났다.

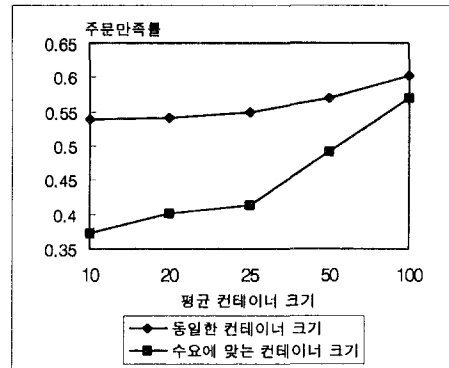
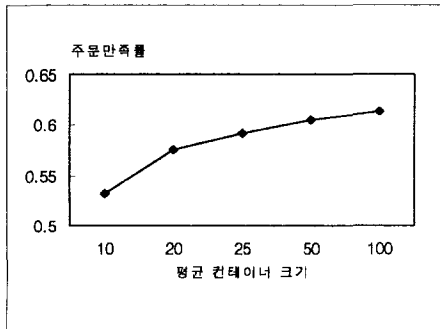
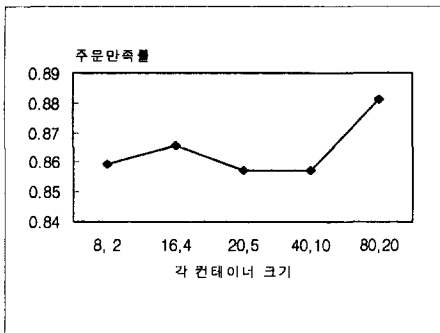


그림 5. 주문크기 분포가 N(160,64),N(40,16) / Exp(37)일 때 주문만족률의 변화

주문만족률을 나타내는 그림 5는 표 8에 있는 결과로, 부품 A의 주문크기 분포가 N(160,64)을 따르고 부품 B는 N(40,16)의 분포를 따를 때 평균 컨테이너 크기를 사용할 경우와 수요에 맞는 컨테이너 크기를 사용할 때, 평균 컨테이너 크기 100에서 각각 0.60201 와 0.56906으로 나타났다. 주문크기에 대한 분산이 커짐으로써 주문만족률이 평균 컨테이너 크기를 사용할 때 더 좋게 나타남을 보여준다. 이는 주문크기 분포에 대한 평균 컨테이너를 기준으로 각 컨테이너 크기의 차와 분산이 커짐으로써 평균 주문크기와 많이 어긋나기 때문이다. 표 9와 10에서 보듯이 부품별 주문도착간격이 다른 경우에서도 주문크기 분포에 대해 평균 컨테이너 크기를 사용하는 것이 주문만족률을 더 좋게 하였다. 이 경우는 컨테이너 크기가 커으로써 재고량을 더 많이 유지할 수 있기 때문에 즉, 표 9에서 주문크기 분포가 부품 A는 N(100,5)/Exp(37)인 분포를 따르고 부품 B는 N(50,2.5)/Exp(18.5)인 분포를 따를 때(이 경우는 칸반을 2개 사용), 두 개의 부품 모두 컨테이너 크기 100으로 사용하는 경우는 잔여 재고량의 최대치가 199인 반면에, 두 부품 모두 주문크기 분포에 맞게 사용하는 경우는 마지막 작업장 출력 버퍼에 잔여 재고량의 최대치가 149까지 남아 있게 되기 때문에



(a) 두 부품의 주문이 동일한 N(100,5)/Exp(37)일 때



(b) 두 부품의 주문이 다른 N(80,4),N(20,1)/Exp(18.5)일 때

그림 4. 컨테이너 크기에 따른 주문만족률

재고량의 차이가 생김으로써, 주문만족률을 증가시키게 되었다.

완제품에 대한 주문대기시간은 각각의 주문량을 고려할 때 더 큰 쪽에 영향을 많이 받고, 분산이 클수록 더 오래 걸린다. 예를 보면, 표 8에서 컨테이너 크기가 평균 100이고 주문크기 분포가 $N(100,20)$ 과 $N(100,40)$ 일 때 각각 8.2613, 10.184로 나타났다. 평균 컨테이너 크기를 사용하는 경우 분산이 증가하면 주문만족을 위한 컨테이너 이동이 분산이 작을 때보다 더 많이 일어난다. 이는 주문크기가 100보다 작은 주문에 대해서는 하나의 컨테이너(컨테이너 크기 100인 경우)로 만족되지만 100보다 크면 2번 이상 컨테이너를 이동시켜 제조하기 때문에 분산이 크면 100 이상의 주문량이 들어올 확률이 분산이 작을 경우보다 많기 때문이다. 주문도착간격은 같고 주문량의 분포가 서로 다른 부품의 경우에서도 주문크기의 변화가 클수록 주문대기시간은 증가하게 된다.

두 개의 부품이 서로 다른 주문크기 분포를 가질 때 동일한 평균 컨테이너 크기를 사용하는 경우가 서로 다른 컨테이너 크기를 사용하는 경우보다 일반적으로 주문대기시간이 더 적게 걸린다. 하지만 주문크기 분포의 변동이 큰 경우에는 평균 컨테이너를 사용할 경우가 더 적게 나타나는 경우도 있다. 예를 들어, 표 10에서 부품A와 B는 각각 $N(120,48)$, $N(40,16)$ 의 주문크기 분포를 따르는 경우 동일한 컨테이너를 사용한 경우 컨테이너 크기 100에서 4.6579로 나타났고, 주문크기에 맞는 컨테이너를 사용한 경우는 5.6528로 나타났다. 컨테이너 크기 변화에 따른 주문대기시간의 변화는, 표에서 살펴 본 결과 일정하지 않게 나타난다. 따라서 컨테이너 크기의 변화에 따라 주문대기시간 변화를 측정하는 기준은 모호하다. 그림 6에서 컨테이너 크기 변화에 따른 주문대기시간의 그래프를 보여준다. 그림 6에서 보면 주문크

기가 각 부품마다 $N(60,3)$, $N(40,2)$ 인 분포를 따를 때 컨테이너 크기가 커짐으로써 주문대기시간이 증가하는 것을 보여준다. 이런 경우는 단일 품목의 경우에서 나타난 것처럼 준비시간의 영향력이 작아서 컨테이너 크기가 작을수록 효과적인 경우를 보여준다. 부품의 주문크기 분포가 $N(100,5)$ 로 동일할 때는 감소하다가 증가하는 형태를 보여주고 $N(100,10)$ 일 때는 감소, 증가, 감소, 증가의 형태를 보인다. 이런 형태는 주문이 동일한 주문크기를 사용하거나 주문이 부품에 따라 변할 때, 부품별 주문도착 시간이 틀릴 경우에도 비슷한 결과로 관측되어진다.

4.3 최적 컨테이너 크기

우선 단일 품목에 대한 최적의 컨테이너 크기를 확인한다. 최적의 컨테이너 크기를 확인하는 기준은 주문대기시간과 주문만족률, 그리고 재고수준으로 평가할 수 있다. 준비시간이 고려되지 않는 경우는 표 4에서 보듯이 주문간격이 $Exp(9.25)$ 와 주문크기 분포가 $N(50,2.5)$ 을 따를 때는 최적의 컨테이너 크기는 10에서 최소의 주문대기시간과 최고의 주문만족률을 나타낸다. 또한 다른 경우에서도 대부분 컨테이너 크기가 작을수록 주문대기시간이 작아지고 주문만족률이 높아지는 것을 볼 수 있고 또한 평균 재고수준은 작아진다. 이는 준비시간을 고려하지 않았기 때문에 재공품 재고들이 대기에서 기다리는 시간이 컨테이너 크기가 클수록 더 커지므로 컨테이너 크기가 더 작을수록 더 효과적으로 나타난다. 하지만 준비시간을 고려했을 경우, 표 5에서 주문간격이 $Exp(9.25)$ 이고 주문크기 분포가 $N(50,2.5)$ 일 경우 컨테이너 크기가 25인 경우에서 최적임을 볼 수 있다. 부품마다 준비시간을 발생시킴으로써 칸반 수가 많아질수록 대기시간을 더 길게 만들게 된다. 따라서 준비시간이 크게 되면 주문크기 분포에 맞는 컨테이너 크기가 설정될 것이다.

다 품목에 대한 연구는 주문크기 분포와 주문도착간격을 변화시켜 컨테이너 크기의 효과를 연구하였다. 먼저 주문크기 분포를 변화시켰을 경우, 변동이 작고 주문크기 분포의 차이가 작은 경우는 평균 컨테이너 크기를 사용하는 것보다 주문크기와 같은 컨테이너 크기를 사용할 때가 더 효과적으로 나타난다. 하지만 주문크기 분포의 변동이 클 경우는 평균 컨테이너를 사용할 때가 더 좋은 효과를 나타내기도 한다. 예를 들어, 표 8에서 보면 주문도착간격이 $Exp(37)$ 과 주문크기 분포의 평균 분산이 40인 경우들을 보면 평균 컨테이너 크기를 사용하는 것이

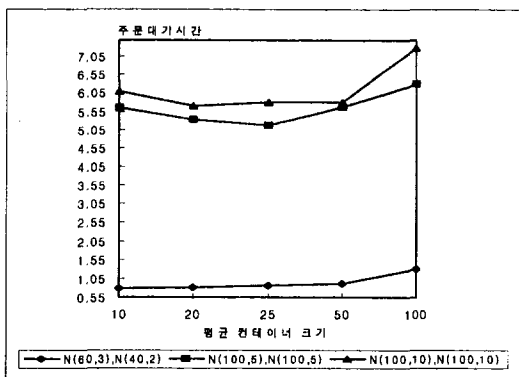


그림 6. 컨테이너 크기 변화에 따른 주문대기시간의 추이

표 4. 단일 부품의 작업 측정 결과(준비시간 없음)

평균 크기	칸반 수	처리시간	항목	주문도착간격 : Exp(9.25)				주문도착간격 : Exp(18.5)			
				N(50,2.5)	N(50,5)	N(50,10)	N(50,20)	N(100,5)	N(100,10)	N(100,20)	N(100,40)
100	1	N(10,3)	주문만족률	.97318	.97195	.96950	.95837	.77857	.77271	.76541	.74290
			주문대기시간	.22567	.20323	.19996	.33998	2.3469	2.4337	2.5026	3.4345
			재공품 재고	1062.7	1062.0	1061.8	1064.5	1071.4	1072.2	1071.5	1074.1
			완제품 재고	185.68	185.64	185.63	182.22	169.03	167.90	167.74	162.57
			총 재고	1248.4	1247.6	1247.5	1246.7	1240.5	1240.1	1239.3	1236.6
50	2	N(5,1.5)	주문만족률	.97714	.96896	.96450	.95291	.77475	.77249	.75894	.72368
			주문대기시간	.09876	.18671	.20377	.35437	2.4699	2.3149	2.4426	2.8577
			재공품 재고	1041.6	1043.2	1044.5	1047.1	1061.5	1061.2	1061.7	1064.9
			완제품 재고	182.41	180.19	179.20	176.36	157.45	158.33	157.13	153.01
			총 재고	1224.0	1223.4	1223.7	1223.4	1218.9	1219.5	1218.8	1217.9
25	4	N(2.5,0.75)	주문만족률	.97410	.97537	.97554	.95559	.78469	.78469	.76118	.74651
			주문대기시간	.11867	.10396	.10255	.24778	2.0967	1.9743	2.2012	2.7376
			재공품 재고	1034.7	1035.3	1035.3	1039.1	1055.5	1055.9	1056.7	1057.9
			완제품 재고	176.95	176.32	176.37	172.27	153.94	153.80	152.29	151.03
			총 재고	1211.7	1211.6	1211.6	1211.3	1209.5	1209.7	1209.0	1208.9
20	5	N(2,0.6)	주문만족률	.98170	.97593	.97590	.96033	.77830	.78093	.77155	.72795
			주문대기시간	.06801	.13028	.10422	.22138	2.0979	1.8342	2.0963	2.9292
			재공품 재고	1033.1	1034.6	1033.9	1037.0	1055.1	1054.7	1055.6	1059.9
			완제품 재고	176.24	174.52	175.30	172.09	152.30	152.64	151.47	146.67
			총 재고	1209.4	1209.2	1209.2	1209.1	1207.4	1207.3	1207.1	1206.6
10	10	N(1,0.3)	주문만족률	.98338	.98209	.97300	.95823	.79715	.78339	.77829	.72889
			주문대기시간	.05227	.06927	.11638	.21483	1.8656	1.9208	1.9884	2.6872
			재공품 재고	1030.0	1030.4	1032.3	1034.9	1052.4	1053.5	1052.7	1057.7
			완제품 재고	174.36	173.98	172.04	169.31	151.04	149.74	150.40	145.16
			총 재고	1204.4	1204.4	1204.3	1204.2	1203.5	1203.3	1203.1	1202.8

표 5. 단일 부품의 작업 측정 결과(준비시간 N(0.1,0.03))

평균 크기	칸반 수	처리시간	항목	주문도착간격 : Exp(9.25)				주문도착간격 : Exp(18.5)			
				N(50,2.5)	N(50,5)	N(50,10)	N(50,20)	N(100,5)	N(100,10)	N(100,20)	N(100,40)
100	1	N(10,3)	주문만족률	.97270	.76514	.96011	.95327	.77596	.74246	.70819	.65194
			주문대기시간	.23779	3.8707	.37006	.49342	2.3762	2.5277	3.1924	4.1357
			재공품 재고	1064.0	543.43	1066.6	1065.8	1072.7	1072.5	1073.2	1075.5
			완제품 재고	183.74	77.219	180.09	179.91	168.69	166.31	163.74	161.40
			총 재고	1247.7	620.65	1246.7	1245.7	1241.4	1238.8	1237.0	1236.9
50	2	N(5,1.5)	주문만족률	.97244	.97169	.96989	.95179	.77223	.76585	.74830	.71333
			주문대기시간	.11863	.15196	.14586	.32628	2.2919	2.2961	2.5376	3.7233
			재공품 재고	1043.0	1043.2	1044.9	1048.6	1063.5	1062.0	1064.5	1066.0
			완제품 재고	180.83	180.66	178.82	174.25	155.40	157.11	154.54	151.56
			총 재고	1223.8	1223.9	1223.8	1222.9	1218.9	1219.2	1219.1	1217.5
25	4	N(2.5,0.75)	주문만족률	.97572	.96309	.96981	.94326	.77874	.75775	.74503	.71485
			주문대기시간	.11107	.23059	.14658	.38327	2.2571	2.2712	2.4626	3.4537
			재공품 재고	1037.2	1038.9	1038.9	1043.4	1058.5	1060.0	1061.5	1062.9
			완제품 재고	174.68	172.37	172.71	167.52	150.85	149.07	147.33	145.29
			총 재고	1211.9	1211.3	1211.6	1210.9	1209.4	1209.1	1208.8	1208.2
20	5	N(2,0.6)	주문만족률	.97314	.97354	.97015	.95328	.75868	.76852	.74736	.69532
			주문대기시간	.11701	.10843	.15411	.27745	2.6505	2.1625	2.6572	3.9072
			재공품 재고	1037.1	1036.7	1037.8	1040.1	1059.9	1058.6	1060.5	1066.0
			완제품 재고	171.99	172.67	171.35	168.82	146.74	148.56	146.38	139.86
			총 재고	1209.1	1209.4	1209.1	1209.0	1206.6	1207.2	1206.9	1205.8
10	10	N(1,0.3)	주문만족률	.95808	.96226	.94687	.04559	.74884	.71852	.69418	.69176
			주문대기시간	.26801	.20345	.33399	.81588	2.7553	3.4669	3.7102	3.9538
			재공품 재고	1037.7	1037.8	1040.2	1040.4	1061.0	1063.1	1066.7	1065.5
			완제품 재고	166.38	166.36	163.89	163.73	141.89	139.38	135.43	136.84
			총 재고	1204.1	1204.2	1204.1	1204.1	1202.9	1202.4	1202.2	1202.4

표 6. 품목당 주문이 다른 경우(평균 컨테이너 크기 50, 평균 분산 2.5~5)

평균 크기	칸반 수	처리시간	항목	주문도착간격 : Exp(18.5)						주문도착간격 : Exp(18.5)							
				N(50,2.5)		N(60,3)		N(40,2)		N(70,3.5)		N(30,1.5)		N(80,4)		N(20,1)	
				1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
100	1	N(10,3)	주문만족률	.89529	.87192	.89646	.84626	.88904	.79479	.88109	.89364	.87402	.89475	.84294	.88663	.79342	.88035
			주문대기시간	1.2958	1.8457	1.3087	2.4795	1.5669	3.5822	1.9792	1.3800	1.8305	1.2901	2.5785	1.6586	3.6550	2.0085
			재공품 재고	1064.8	1062.9	1065.6	1057.2	1071.3	1052.1	1079.2	1064.5	1062.4	1065.3	1057.9	1071.2	1051.9	1078.8
			완제품 재고	219.93	218.11	217.79	219.72	209.59	218.15	198.05	219.18	217.49	218.56	218.07	208.94	218.86	196.98
			총 재고	1284.7	1281.0	1283.4	1276.9	1280.9	1270.3	1277.3	1283.7	1279.9	1283.9	1276.0	1280.1	1270.8	1275.7
50	2	N(5,1.5)	주문만족률	.88780	.86035	.88400	.82118	.87553	.78765	.85734	.88084	.85744	.87734	.81510	.87309	.78522	.85539
			주문대기시간	.82654	1.0538	.92285	1.5035	1.0024	1.9423	1.3049	.90732	1.1305	.93713	1.6999	1.0043	2.0934	1.3507
			재공품 재고	1046.0	1046.0	1047.7	1045.2	1050.9	1042.3	1058.7	1047.1	1046.6	1048.2	1045.8	1051.7	1042.7	1058.9
			완제품 재고	197.29	197.06	195.40	195.03	192.48	195.85	183.06	196.78	195.98	195.60	193.94	191.02	194.70	182.04
			총 재고	1243.3	1243.0	1243.1	1240.2	1243.4	1238.2	1241.8	1243.9	1242.5	1243.8	1239.7	1242.8	1237.4	1240.9
25	4	N(2.5,0.75)	주문만족률	.88530	.84157	.88167	.81542	.87443	.78540	.85737	.87916	.84147	.87882	.81063	.85918	.78287	.85160
			주문대기시간	.79220	1.1025	.86291	1.5133	.92833	2.0158	1.1926	.79223	1.1410	.82832	1.4814	1.1321	2.0005	1.2206
			재공품 재고	1040.7	1040.1	1042.2	1039.9	1046.3	1039.0	1052.3	1040.4	1040.9	1041.7	1040.1	1046.3	1039.2	1052.0
			완제품 재고	180.54	180.48	178.71	179.39	174.00	178.29	167.76	180.64	179.24	179.42	178.88	173.84	178.02	167.83
			총 재고	1221.2	1220.6	1220.9	1219.3	1220.3	1217.3	1220.0	1221.1	1220.2	1221.1	1219.0	1220.2	1217.2	1219.9
20	5	N(2,0.6)	주문만족률	.88856	.83493	.88230	.81317	.87249	.77874	.86556	.87671	.83791	.87218	.81169	.86513	.77733	.85043
			주문대기시간	.73446	1.0648	.82371	1.5624	.97568	2.2122	1.2149	.81594	1.0675	.89334	1.5750	1.0171	2.1708	1.2739
			재공품 재고	1039.6	1038.9	1041.3	1039.4	1044.3	1038.6	1049.9	1040.2	1039.8	1041.0	1039.7	1044.6	1039.3	1049.9
			완제품 재고	177.09	177.20	175.37	175.38	171.64	173.97	165.59	176.48	176.34	175.40	174.74	171.49	173.34	165.33
			총 재고	1216.7	1216.1	1216.7	1214.8	1216.0	1212.6	1215.5	1216.7	1216.1	1216.4	1214.5	1216.1	1212.7	1215.2
10	10	N(1,0.3)	주문만족률	.88229	.83030	.88291	.81163	.87124	.77401	.85927	.87066	.83056	.87092	.81526	.85680	.77138	.84596
			주문대기시간	.78138	1.1648	.79518	1.5383	.92711	2.2676	1.2280	.86179	1.1388	.85024	1.4318	1.1970	2.3746	1.2053
			재공품 재고	1037.3	1037.7	1037.7	1037.9	1042.3	1038.9	1046.5	1037.4	1037.9	1037.6	1037.5	1042.5	1038.7	1047.6
			완제품 재고	170.30	169.43	169.67	168.42	164.96	165.99	160.30	170.23	169.26	169.97	168.74	164.62	166.13	159.22
			총 재고	1207.6	1207.1	1207.4	1206.4	1207.3	1204.9	1206.8	1207.6	1207.1	1207.5	1206.2	1207.1	1204.8	1206.9

* 1: 평균 컨테이너 크기, 2: 주문 크기에 맞는 컨테이너 크기 (표 6~10)

표 7. 품목당 주문이 다른 경우(평균 컨테이너 크기 100, 평균 분산 5~10)

평균 크기	칸반 수	처리시간	항목	주문도착간격 : Exp(37)						주문도착간격 : Exp(37)							
				N(100,5)		N(120,6)		N(80,4)		N(140,7)		N(60,3)		N(180,8)		N(40,2)	
				1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
100	1	N(10,3)	주문만족률	.61449	.60094	.61992	.58240	.60638	.56883	.59985	.60985	.59525	.60301	.58601	.60381	.56886	.60090
			주문대기시간	6.2949	8.1241	6.8306	10.625	7.2181	13.400	8.0259	7.2900	8.2095	7.3935	10.980	7.5998	13.035	8.5926
			재공품 재고	1059.4	1058.2	1060.9	1053.9	1067.2	1048.2	1075.4	1059.9	1058.3	1062.3	1054.0	1066.0	1048.2	1074.1
			완제품 재고	213.00	204.25	208.18	204.34	198.03	204.06	186.09	205.79	203.58	204.71	203.27	198.19	205.44	183.12
			총 재고	1272.4	1262.4	1269.1	1258.2	1265.2	1252.3	1261.5	1265.7	1261.8	1267.0	1257.2	1264.2	1253.7	1257.2
50	2	N(5,1.5)	주문만족률	.60489	.53262	.61057	.48685	.61208	.49465	.59943	.58711	.53659	.58943	.50105	.59009	.50739	.58331
			주문대기시간	5.6633	6.5924	5.7468	8.3312	5.8106	9.3764	7.1288	5.8011	6.4118	5.9900	7.5216	6.2602	8.7889	7.1284
			재공품 재고	1054.8	1052.4	1055.2	1048.6	1058.8	1042.8	1065.7	1054.6	1051.2	1054.7	1047.8	1058.8	1042.9	1065.2
			완제품 재고	178.66	179.85	178.19	179.60	173.50	183.25	163.33	178.52	180.96	176.30	181.08	172.79	183.84	163.44
			총 재고	1233.5	1232.2	1233.4	1228.2	1232.3	1226.0	1229.0	1233.1	1232.1	1231.0	1228.9	1231.6	1226.7	1228.6
25	4	N(2.5,0.75)	주문만족률	.59154	.42686	.58924	.42669	.58897	.48772	.59221	.54374	.44777	.54569	.43645	.53942	.49194	.53936
			주문대기시간	5.1726	6.9675	5.3860	7.5976	5.8655	8.3884	6.6383	5.8125	7.1197	5.8668	7.6789	6.4888	8.5909	7.2692
			재공품 재고	1051.6	1050.0	1052.9	1045.9	1057.3	1043.0	1062.4	1050.6	1049.6	1051.8	1047.0	1056.8	1042.3	1062.9
			완제품 재고	163.53	163.54	162.05	166.04	156.77	168.15	150.75	164.31	163.46	162.37	164.73	157.09	167.28	149.47
			총 재고	1215.2	1213.5	1214.9	1211.9	1214.1	1211.2	1213.2	1214.9	1213.1	1214.2	1211.8	1213.8	1209.6	1212.4
20	5	N(2,0.6)	주문만족률	.57540	.39692	.57900	.41222	.57382	.49460	.57642	.53041	.43749	.51794	.42996	.52258	.48442	.52618
			주문대기시간	5.3353	6.9739	5.6548	7.4283	6.2425	8.5607	6.8423	5.7026	6.2901	6.2232	7.2415	6.0282	9.0049	7.1763
			재공품 재고	1052.2	1049.7	1053.2	1047.1	1056.9	1043.3	1062.8	1050.3	1048.7	1051.9	1046.6	1057.2	1043.2	1062.2
			완제품 재고	159.14	160.58	157.75	161.72	153.08	164.21	145.97	161.19	162.00	158.01	162.53	153.49	162.85	146.93
			총 재고	1211.3	1210.3	1211.0	1208.8	1210.0	1207.5	1208.8	1211.5	1210.7	1209.9	1209.1	1210.7	1206.0	1209.2
10	10	N(1,0.3)	주문만족률	.53184	.37019	.52842	.41330	.51844	.48694	.53141	.45302	.39518	.44425	.41584	.44600	.48865	.49146
			주문대기시간	5.6354	6.5018	5.7013	7.7976	6.4539	8.7170	6.7964	6.0980	6.9833	6.9821	8.0696	6.7121	9.0200	8.0498
			재공품 재고	1050.3	1048.7	1051.7	1046.8	1056.7	1044.0	1062.1	1050.2	1050.1	1052.5	1047.5	1056.1	1044.1	1062.3
			완제품 재고	154.16	154.82	152.09	155.61	146.48	156.86	141.09	153.43	153.18	150.36	154.28	147.30	156.07	139.86
			총 재고	1204.5	1203.5	1203.8	1202.4	1203.2	1200.9	1203.2	1203.6	1203.3	1202.9	1201.8	1203.4	1200.2	1202.2

표 8. 품목당 주문이 다른 경우(평균 컨테이너 크기 100, 평균 분산 20~40)

평균 크기	칸반 수	처리시간	항목	주문도착간격 : Exp(37)						주문도착간격 : Exp(37)							
				N(100,20)		N(120,24)		N(80,16)		N(140,28)		N(60,12)		N(160,32)		N(40,8)	
				1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
100	1	N(10,3)	주문만족률	.58752	.59034	.59026	.59114	.59055	.57927	.58695	.56076	.58067	.57515	.60782	.57593	.60201	.56906
			주문대기시간	8.2613	9.0579	8.2638	10.686	8.5825	12.999	9.5324	10.184	9.6398	9.8943	11.179	10.500	14.845	11.088
			재공품 재고	1061.1	1058.4	1061.5	1054.2	1066.2	1047.8	1074.5	1059.2	1057.6	1061.0	1053.6	1065.2	1047.6	1071.7
			완제품 재고	200.71	203.86	201.05	205.23	192.81	205.52	179.26	197.58	202.64	196.14	203.76	190.46	204.35	178.53
			총 재고	1261.8	1262.2	1262.5	1259.5	1259.1	1253.3	1253.8	1256.8	1260.3	1257.1	1257.3	1255.6	1252.0	1250.3
50	2	N(5,1.5)	주문만족률	.54753	.52433	.54382	.52057	.54421	.53626	.53371	.48907	.51696	.48715	.53632	.48439	.56984	.49182
			주문대기시간	6.4866	6.7471	6.5750	8.0511	6.9460	8.9657	7.9397	8.5047	7.7362	8.4024	9.2254	8.7260	10.216	9.4991
			재공품 재고	1053.3	1051.6	1054.2	1048.3	1058.2	1042.2	1066.4	1053.4	1050.4	1053.5	1049.0	1059.1	1042.3	1063.0
			완제품 재고	178.10	179.54	177.15	180.75	172.47	184.61	160.60	175.61	179.80	174.82	178.18	167.70	182.19	161.42
			총 재고	1231.4	1231.1	1231.4	1229.0	1230.7	1226.8	1227.0	1229.0	1230.2	1228.3	1227.1	1226.8	1224.5	1224.5
25	4	N(2.5,0.75)	주문만족률	.47893	.45823	.46616	.47193	.46896	.50957	.46079	.42620	.45345	.42806	.51792	.42498	.54860	.41471
			주문대기시간	6.2749	7.1683	6.6311	7.9356	7.3772	8.9300	8.4979	8.0260	7.9841	8.1646	8.2405	8.8768	9.6208	9.9092
			재공품 재고	1050.7	1050.3	1051.9	1045.4	1056.6	1043.2	1062.9	1051.3	1049.3	1052.6	1046.2	1056.8	1042.0	1064.7
			완제품 재고	163.62	162.14	161.26	165.68	155.92	166.84	148.01	160.94	162.18	159.49	164.16	154.63	166.57	144.48
			총 재고	1214.4	1212.4	1213.2	1211.1	1212.5	1210.0	1210.9	1212.3	1211.5	1212.1	1210.3	1211.5	1208.6	1209.2
20	5	N(2,0.6)	주문만족률	.44783	.45414	.44317	.46560	.44471	.49913	.44580	.39951	.43803	.39940	.49952	.40772	.54150	.40237
			주문대기시간	6.4606	6.6745	7.0524	7.7273	7.4178	9.4609	8.4618	8.4394	8.5609	8.7941	8.5390	8.7663	10.200	9.8616
			재공품 재고	1050.3	1049.1	1051.7	1046.1	1056.4	1043.5	1062.3	1051.8	1050.2	1053.7	1047.5	1056.2	1043.0	1063.4
			완제품 재고	159.89	161.02	157.77	162.13	152.83	162.22	145.53	156.39	157.55	154.39	160.77	150.88	161.33	142.88
			총 재고	1210.2	1210.2	1209.5	1208.2	1209.3	1205.7	1207.8	1208.2	1207.7	1208.1	1208.3	1207.0	1204.3	1206.3
10	10	N(1,0.3)	주문만족률	.39845	.42513	.40048	.44866	.39102	.49188	.38599	.37154	.41691	.39206	.48845	.37303	.53848	.37320
			주문대기시간	7.0785	6.6845	7.0252	7.5996	8.0990	9.5671	9.6747	9.0403	8.3683	8.1691	8.7316	9.1419	9.8143	9.8556
			재공품 재고	1050.6	1049.0	1052.1	1046.8	1056.3	1044.9	1064.5	1052.5	1049.7	1051.3	1047.4	1057.2	1044.0	1062.6
			완제품 재고	153.01	154.29	151.48	155.16	145.83	154.88	136.84	149.47	151.72	151.24	153.40	144.50	155.41	138.56
			총 재고	1203.6	1203.3	1203.6	1201.9	1202.2	1199.8	1201.4	1202.0	1201.5	1202.5	1200.8	1201.7	1199.4	1201.2

표 9. 품목당 주문도착간격이 다른 경우(평균 컨테이너 크기 100, 평균 분산 5~10)

평균 크기	칸반 수	처리 시간	항목	주문도착간격 : 부품 A-Exp(37), 부품 B-Exp(18.5)						주문도착간격 : 부품 A-Exp(37), 부품 B-Exp(18.5)									
				A: N(100,5)		A: N(120,6)		A: N(140,7)		A: N(160,8)		A: N(100,10)		A: N(120,12)		A: N(140,14)		A: N(160,16)	
				B: N(50,2.5)		B: N(40,2)		B: N(30,1.5)		B: N(20,1)		B: N(50,5)		B: N(40,4)		B: N(30,3)		B: N(20,2)	
				1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
100	1	N(10,3)	주문만족률	.79894	.78692	.78094	.78135	.74595	.76757	.56883	.75723	.79939	.79030	.78093	.77336	.74564	.76544	.71490	.75427
			주문대기시간	3.2289	2.8375	4.3840	3.2244	6.8837	3.9136	13.400	4.9477	3.2476	2.6666	4.6686	3.6228	6.8677	4.1554	9.1638	5.0637
			재공품 재고	1062.7	1054.0	1059.1	1058.3	1054.5	1066.7	1048.2	1074.3	1062.4	1053.4	1059.6	1059.5	1053.8	1065.3	1048.0	1074.2
			완제품 재고	211.63	205.46	210.08	201.23	206.48	187.47	204.06	179.88	213.13	202.63	209.80	196.62	206.29	189.30	204.76	177.39
			총 재고	1274.4	1259.5	1269.1	1259.6	1261.0	1254.2	1252.3	1254.2	1275.5	1256.1	1269.4	1256.1	1260.1	1254.6	1252.8	1251.6
50	2	N(5,1.5)	주문만족률	.78633	.78661	.74210	.77904	.69516	.75972	.49465	.74210	.78033	.77351	.75045	.75751	.70205	.74656	.67372	.72692
			주문대기시간	2.5524	2.4375	3.8297	2.8453	5.0023	3.6844	9.3764	4.6533	2.6880	2.4698	3.3239	3.3156	4.9972	3.7203	6.3782	4.6742
			재공품 재고	1050.4	1048.2	1049.5	1052.2	1046.7	1059.1	1042.8	1067.2	1050.0	1048.3	1048.4	1052.5	1046.5	1059.6	1042.2	1067.9
			완제품 재고	188.23	179.11	185.16	176.19	182.64	167.02	183.25	157.01	187.92	178.50	186.56	173.56	183.24	166.64	184.14	155.14
			총 재고	1238.7	1227.3	1234.6	1228.4	1229.3	1226.1	1226.0	1224.2	1238.0	1226.8	1235.0	1226.0	1229.7	1226.2	1226.3	1223.1
25	4	N(2.5, 0.75)	주문만족률	.78348	-	.66286	.77028	.65746	-	.48772	.73534	.75607	-	.67942	.73423	.66481	-	.66733	.70593
			주문대기시간	2.3748	-	3.9613	2.8269	4.9635	-	8.3884	4.1812	2.5743	-	3.6616	3.2604	4.9807	-	6.0206	4.7798
			재공품 재고	1047.2	-	1046.6	1049.8	1044.6	-	1043.0	1065.2	1046.5	-	1046.3	1051.0	1044.1	-	1042.7	1066.5
			완제품 재고	171.00	-	167.77	162.35	167.70	-	168.15	145.50	170.97	-	169.30	160.42	166.99	-	166.51	143.17
			총 재고	1218.2	-	1214.4	1212.2	1212.3	-	1211.2	1210.7	1217.4	-	1215.6	1211.4	1211.1	-	1209.2	1209.7
20	5	N(2,0.6)	주문만족률	.76872	.77264	.63857	.75976	.65506	.74297	.49460	.72165	.73967	.74000	.65867	.73133	.66131	.71807	.66772	.70348
			주문대기시간	2.6636	2.2877	3.9840	2.9465	5.0248	3.6052	8.5607	4.7276	2.8453	2.6439	3.9342	3.2558	4.7920	4.0035	6.3140	4.5583
			재공품 재고	1046.5	1045.8	1047.0	1049.6	1046.0	1057.1	1043.3	1065.5	1046.9	1045.5	1046.3	1049.5	1044.5	1056.0	1042.1	1064.1
			완제품 재고	166.92	163.75	164.30	159.14	162.69	151.37	164.21	141.62	166.04	163.53	165.18	159.24	164.20	151.92	163.26	143.44
			총 재고	1213.4	1209.6	1211.3	1208.8	1208.7	1208.5	1207.5	1207.1	1213.0	1209.0	1211.5	1208.7	1208.7	1207.9	1205.3	1207.6
10	10	N(1,0.3)	주문만족률	.75394	.74707	.60994	.73694	.65301	.71468	.48694	.69468	.71318	.68071	.62692	.70036	.65835	.68371	.66684	.65870
			주문대기시간	2.6086	2.5261	3.9975	3.2288	5.0045	4.1819	8.7170	5.1010	2.9771	3.2559	4.0970	3.5597	4.6520	4.2979	6.4139	5.2319
			재공품 재고	1045.5	1044.7	1046.1	1049.4	1045.9	1056.9	1044.0	1066.3	1045.9	1044.9	1047.4	1049.2	1044.3	1056.6	1044.6	1065.9
			완제품 재고	160.22	158.65	157.29	153.30	156.63	145.13	156.86	134.49	159.48	157.83	156.48	153.62	158.46	144.63	154.77	135.12
			총 재고	1205.7	1203.4	1203.4	1202.7	1202.6	1202.0	1200.9	1200.8	1205.3	1202.7	1203.9	1202.9	1202.8	1201.2	1199.4	1201.0

표 10. 품목당 주문도착간격이 다른 경우(평균 컨테이너 크기 100, 평균 분산 20~40)

평균 크기	칸반 수	처리 시간	항목	주문도착간격 : 부품 A-Exp(37), 부품 B-Exp(18.5)								주문도착간격 : 부품 A-Exp(37), 부품 B-Exp(18.5)							
				A: N(100,20)		A: N(120,24)		A: N(140,28)		A: N(160,32)		A: N(100,40)		A: N(120,48)		A: N(140,56)		A: N(160,64)	
				B: N(50,10)	B: N(40,8)	B: N(30,6)	B: N(20,4)	B: N(50,20)	B: N(40,16)	B: N(30,12)	B: N(20,8)								
				1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
100	1	N(10,3)	주문만족률	.78736	.78624	.77277	.76821	.74962	.75577	.72239	.74719	.77141	.75287	.76886	.74972	.75981	.74622	.73389	.73773
			주문대기시간	3.5153	2.8361	4.9078	3.7862	6.9747	4.8410	8.4864	5.6283	4.3743	3.9820	5.6528	4.6579	7.7317	5.2575	11.166	6.8177
			재공품 재고	1062.0	1053.0	1059.3	1058.5	1054.4	1065.8	1048.4	1075.7	1060.9	1053.5	1058.6	1058.2	1053.6	1065.4	1047.9	1074.5
			완제품 재고	210.80	202.20	208.75	194.85	206.30	185.81	205.56	173.69	208.65	197.05	207.16	191.81	206.35	185.21	201.91	169.48
			총 재고	1272.8	1255.2	1268.0	1253.4	1260.7	1251.6	1254.0	1249.4	1269.5	1250.5	1265.8	1250.0	1259.9	1250.6	1249.8	1244.0
50	2	N(5,1.5)	주문만족률	.74923	.74307	.73989	.73301	.72110	.72068	.69063	.70862	.71480	.71386	.73036	.71124	.73115	.69777	.71905	.67640
			주문대기시간	3.1911	2.8845	3.8014	3.5541	5.1762	4.1140	5.8303	5.1371	3.8440	3.7290	4.5047	4.1048	5.6773	4.9332	6.7092	6.3681
			재공품 재고	1052.0	1047.9	1049.4	1052.9	1046.2	1058.9	1041.7	1066.7	1052.4	1048.7	1048.8	1051.9	1045.5	1058.9	1041.4	1066.7
			완제품 재고	184.49	177.81	184.00	172.26	184.20	166.24	185.56	155.60	182.29	175.87	182.71	172.85	182.43	163.98	184.29	153.00
			총 재고	1236.5	1225.7	1233.4	1225.2	1230.4	1225.2	1227.2	1222.3	1234.7	1224.6	1231.5	1224.8	1227.9	1222.9	1225.7	1219.7
25	4	N(2.5, 0.75)	주문만족률	.72539	-	.69922	.69482	.68245	-	.67622	.67012	.68500	-	.70045	.66841	.70728	-	.70375	.65072
			주문대기시간	2.8021	-	3.7401	3.8817	5.1684	-	6.2618	5.4945	3.7229	-	4.5604	4.6219	6.0719	-	6.9781	6.8061
			재공품 재고	1046.8	-	1046.3	1052.2	1045.6	-	1041.9	1065.0	1048.7	-	1047.9	1051.7	1045.6	-	1042.3	1065.7
			완제품 재고	170.78	-	168.81	159.44	166.27	-	166.91	143.48	167.11	-	166.25	158.23	164.18	-	165.54	141.34
			총 재고	1217.5	-	1215.1	1211.6	1211.8	-	1208.8	1208.5	1215.8	-	1214.2	1209.9	1209.8	-	1207.8	1207.0
20	5	N(2,0.6)	주문만족률	.70385	.70763	.68754	.69105	.67702	.67628	.67544	.66093	.67300	.66174	.69041	.66440	.70325	.64851	.70640	.64362
			주문대기시간	3.1099	2.8906	3.9130	3.6131	5.3181	4.6490	6.1141	5.5362	4.1902	4.3300	4.5262	4.4313	5.7168	5.5113	6.7646	6.4926
			재공품 재고	1046.9	1045.4	1045.9	1049.7	1046.2	1056.8	1042.9	1065.6	1047.7	1048.3	1047.0	1052.0	1045.4	1057.7	1042.5	1066.9
			완제품 재고	165.84	163.45	165.24	158.39	161.96	149.90	163.43	139.98	163.55	159.04	162.58	154.71	162.09	147.28	162.24	137.91
			총 재고	1212.7	1208.8	1211.1	1208.1	1208.2	1206.7	1206.3	1205.6	1211.3	1207.3	1209.6	1206.8	1207.5	1204.9	1204.8	1204.8
10	10	N(1,0.3)	주문만족률	.68781	.68071	.66852	.66688	.67221	.65507	.67363	.65179	.66245	.65154	.67788	.65152	.69543	.63150	.70487	.62520
			주문대기시간	3.1811	3.2559	4.1156	4.2039	5.0667	4.5805	6.2440	5.3647	4.1971	4.6472	4.6798	4.5675	6.1129	6.2801	6.6947	7.1634
			재공품 재고	1045.2	1044.9	1045.6	1050.9	1046.3	1057.0	1044.5	1063.6	1046.9	1046.9	1046.7	1050.4	1046.7	1058.0	1043.1	1066.0
			완제품 재고	159.87	157.83	158.18	151.31	155.91	144.90	155.00	137.62	156.90	154.16	156.53	151.64	154.15	142.19	156.31	133.73
			총 재고	1205.1	1202.7	1203.8	1202.2	1202.2	1201.9	1199.5	1201.2	1203.8	1201.1	1203.2	1202.0	1200.9	1200.2	1199.5	1199.7

* 표 9~10에 - 로 표시된 것은 칸반 수가 정수가 되지 않아 생략함

주문크기에 맞는 컨테이너를 사용하는 경우보다 더 효과적으로 나타나는 경우를 볼 수 있다. 품목마다 주문도착간격이 다른 경우 일반적으로 주문크기에 맞는 컨테이너를 사용하는 것이 평균 컨테이너 크기를 사용할 때보다 더 효과적으로 나타난다. 일부의 경우에는 평균 컨테이너 크기가 주문만족률이 높아지는 경우가 있으나 주문대기시간이 길어짐으로 효과가 상쇄하는 경우도 나타난다.

다 품목에서 대부분의 경우 주문크기에 맞는 컨테이너 크기를 사용하는 것이 더 유효하다고 할 수가 있다. 하지만 그 중에서 어떤 컨테이너 크기를 설정하는 것이 최적인가에 대해서는 상당한 어려움이 있다. 컨테이너 크기가 커질수록 주문만족률은 높아지고 평균 재고수준은 증가하게 된다. 하지만 주문대기시간에 대해서는 뚜렷한 특징이 없이 변화가 많다. 일반적으로 큰 컨테이너 크기(평균 100인 컨테이너)가 주문대기시간이 길어진다. 하지만 나머지 컨테이너 크기들에서는 주문대기시간 변동의 폭이 넓게 분포되었다.

5. 결론 및 추후과제

이 논문에서는, 칸반시스템에 대한 기존 논문의 결과를 확인해 보고 주문크기 변동에 따라 다른 크기의 컨테이너를 사용함으로써 컨테이너 크기가 다른 경우의 유효성을 확인하였다. 부품별 주문도착간격 변동에 따른 주문크기에 변화가 있을 때의 경우도 살펴보았다. 즉 부품 형태에 따른 컨테이너 크기의 변화와 주문크기의 변화, 주문도착간격의 변화를 가정하였다.

컨테이너 크기가 작아지면 더 많은 빈도의 준비시간을 유발하게 됨으로써, 전체 사용된 시간에서 컨테이너에 부품을 채우기 위해서 사용되는 공정시간 비율이 적게 되기 때문에, 재공품 재고가 더 적은 양의 평균을 가지게 된다. 또한 컨테이너 크기가 작아지면 평균 고객봉사에 대한 수준이 항상 나쁘게만 나타나지 않는다는 기존 논문결과[1]를 확인했다.

결론적으로, 평균 분산 분포가 클 경우 커다란 컨테이너 크기에서는 총 재고량의 증가와 주문대기 시

간의 증가 등으로 알맞지 않은 것으로 결론 내릴 수 있고, 또한 주문크기 분포가 서로 다른 경우 주문크기에 맞는 컨테이너를 사용하는 경우와 평균 주문크기를 사용한 컨테이너와 비교해서 주문크기 분포에 대한 분산이 커질수록 주문크기에 맞는 컨테이너를 사용하는 것이 평균 컨테이너를 사용한 것보다 항상 좋은 결과를 보여주지는 않았다.

추후 연구과제로는 작업장 간의 이동시 시간소요 문제에 대한 작업측정과 비용을 고려한 요인들에 가중치를 부여하여 계산한 효과적인 컨테이너 크기의 고찰이 필요할 것이다. 이에 따른 가장 효과적인 컨테이너 크기를 설정하는 것이 최선의 대안이 될 것이다. 다른 대안으로, 의사결정자가 적정 수준의 주문만족률을 정해 놓으면 그 범위 내에서 최소의 주문대기시간을 갖는 컨테이너 크기를 설정할 수도 있다.

참 고 문 헌

- [1] B. J. Berkley, "A simulation of container size in two-card kanban systems", *International Journal of Production Research*, Vol. 34, No. 12, pp. 3417-3445, 1996.
- [2] U. S. Karmarkar, and S. Kekre, "Batching policy kanban systems", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 8, No. 4, pp. 317-328, 1989.
- [3] I. H. Yavuz, and A. Satir, "A kanban-based simulation study of a mixed model just-in-time manufacturing line", *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No. 4, pp. 1027-1048, 1995.
- [4] L. J. Krajewski, B. E. King, L. P. Litzman, and D. S. Wong, "Kanban, MRP, and shaping the manufacturing environment", *Management Science*, Vol. 33, No. 1, pp. 39-57, 1987.
- [5] G. Abdou, and S. P. Dutta, "A systematic simulation approach for the design of JIT manufacturing systems", *Journal of Operations Management*, Vol 11, pp. 225-238, 1993.
- [6] C. D. Pegden, "Introduction to SIMAN (*Stats college, PA: System Modelling Corporation*)", 1987.
- [7] G. W. Evans, M. Mollaghasemi, E. C. Russell, and W. E. Biles, "Kanban simulator using SIMAN and Lotus 1-2-3", *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, pp. 838-844, 1993.