

N-serial Kanban Systems

남 익 현*

《目 次》

- I. 들어가며
- II. 칸반 시스템
- III. 대기행렬 시스템과의 차이
- IV. 상태 전이(state transition)
- V. 확장

I. 들어가며



〈그림 1〉 n 순차 대기행렬 모형

일반적으로 대기행렬 모형(queueing model)에서는 서비스를 원하는 고객이 도착하면 대기행렬에 들어가 자신의 처리순서를 기다리다가 순서가 되면 서비스제공자로부터 필요한 서비스를 받고 서비스가 완료되면 시스템 경계 밖으로 나오게 된다. 대기행렬모형에서 고객이라 함은 시스템의 외부 혹은 내부로부터 들어오는 작업주문이 포함된다. 가령 서비스업의 경우 고객의 요청이 이에 해당되며 주문생산을 하는 제조업의 경우 고객의 주문이 대기행렬의 고객이라고 할 수 있다. 대부분의 경우 대기행렬 모형에서는 고객주문을 다루게 되어 생산 혹은 처리 요구가 고객의 주문으로부터 시작된다. 반면에 재고모형의 경우 고객의 주문이 발생하기 이전에 적정 재고를 확보하는 것을 다루게 된다. 따라서 대기행렬 모형과 재고 모형은 상호 대조적이라고 할 수 있다. 우리는 본 논문에서 대기행렬 모형의 형태를 따르지만 주문형 생산시스템으로 널리 알려진 토요타의 칸반생산방식을 다루고자 한다. 토요타의 칸반생산방식은 재고수준을 고객의 수요속도에 따라 통제하는 스케줄링 기법으로 기본적으로는 무재고를 추구하는 재고모형의 일종이라고 할 수 있다.

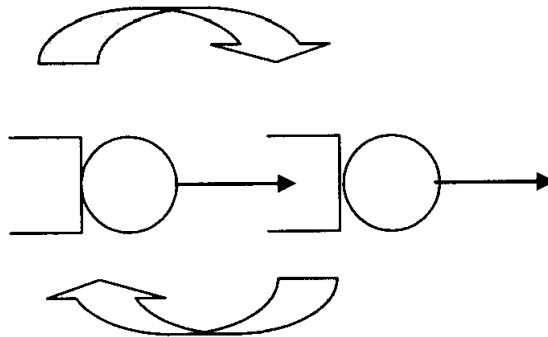
* 서울대학교 경영대학

우리가 다루고자 하는 대기행렬시스템은 n 개의 공정을 처리하는 설비가 순차적으로 연결되어 있는 것이다 (그림 1 참조).

생산주문이 발생할 경우 공정 1로부터 시작하여 순차적으로 처리공정을 거쳐 n 공정을 마치는 경우 완성품이 되는 것을 말한다. 이러한 대기행렬 시스템을 n station serial system이라고 하는데 기본적인 대기행렬 모형이 순차적으로 연결되어 있는 것으로 볼 수 있다.

II. 칸반 시스템

우리는 이러한 n 순차 대기행렬모형에 토요타시스템에서 널리 사용되는 생산스케줄링 기법으로 유명한 칸반시스템(kanban system)을 적용하고자 한다. 우선 칸반에 대해 먼저 간단히 살펴보기로 하자.



〈그림 2〉 칸반카드의 순환

연속된 2개의 공정 사이에 일정수의 칸반카드가 순환하는데 이전공정에 있는 칸반카드는 해당 공정에서의 생산주문을 나타내는 것이고 여기서 공정처리를 마친 재공품은 칸반카드와 함께 다음 공정으로 전달된다. 다음 공정에서 처리를 하여 재공품을 사용한 경우 재공품에 부착된 칸반카드를 이전공정으로 돌려보내게 되고 이러한 칸반이 생산주문의 역할을 하게 된다. 이러한 방식으로 일정수의 칸반카드가 두 개의 연속 공정 사이에서 순환하게 되는 것이다. 이러한 칸반 시스템은 후속 공정에서의 수요속도에 의해 재공품의 재고수준이 조정을 받는 효과를 얻을 수 있다. 즉 후공정에서 처리속도가 빨라져 재공품의 소진속도가 커지면 이는 칸반카드가 전공정으로 신속하게 전달되는 것을 의미하여 전공정에 생산 주문이 많아지는 것을 의미한다. 반대로 후공정이 가령 담당 설비의 고장으로 처리가 지연될 경우 후공정에서의 처리속도가 줄고 이는

재공품 소비속도가 줄어드는 것을 말하며 칸반카드의 전공정 전달이 지연되어 전공정에서 처리를 자연스레 늦추게 되는 것이다. 특별한 경우로, 다음 공정에 있는 재공품이 칸반카드의 숫자만큼 존재하게 되면 이는 전공정에 칸반카드가 없음을 의미하고 따라서 전공정에서 생산 주문이 없는 경우가 되며 처리가 중단되는 것이다. 이와 같이 연속 공정의 처리속도가 상호 칸반카드에 의해 조절이 되며 재공품 재고의 최고치가 칸반카드 수로 한정되어 있게 됨으로써 두 공정 사이에 과도한 재고가 누적되는 경우를 방지할 수 있는 것이다.

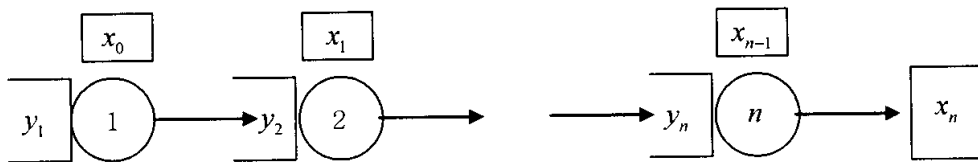
Ⅲ. 대기행렬 시스템과의 차이

본 논문에서는 전후 공정을 나타내는 2개의 설비에 적용되는 칸반시스템을 보다 일반화하여 n 개의 설비를 순차적으로 거쳐서 완제품을 생산하는 시스템을 다루고자 한다. 여기서 각각의 설비에 칸반카드 시스템을 도입하여 재공품에 대한 재고수준을 억제하는 경우를 다루고자 한다. 보다 구체적으로 x_i 를 설비 혹은 공정 i 의 가공을 마친 재공품의 개수를 나타낸다고 하자. 또한 y_i 를 i 번째 설비 혹은 공정에서 처리를 기다리고 있는 생산주문의 개수를 나타낸다고 하고 이는 설비 i 를 대기행렬시스템으로 보았을 때 대기고객의 숫자를 나타내는 것이다. 그리고 설비 i 에서 순환이 되는 칸반의 개수는 k_i 라고 할 때 우리는 $x_i + y_i = k_i$ 임을 알 수 있다. 칸반카드에 의해 재고수준이 통제된다는 것은 $x_i = k_i$ 일 때, 즉 설비 i 에서 공정을 마친 재공품이 충분히 있을 때에는 $y_i = 0$ 임을 알 수 있고 이는 설비 i 에서의 대기행렬에 주문 혹은 고객이 없다는 것을 의미한다. 따라서 $x_i = k_i$ 일 때에는 설비 i 에서 더 이상 작업을 하지 않고 설비 i 는 유희상태에 들어가는 것이다. 그러므로 설비 i 에서 작업을 마친 재공품의 개수는 최대 k_i 로 통제가 되는 것이다. 여기서 제 1공정의 경우 자재의 공급에 제약이 없다고 가정하는데 이는 $x_0 = \infty$ 임을 가정하는 것이다.

따라서 일반적인 n station serial queueing system과 차별화되며 다음 그림에서와 같이 일정 공정을 마친 재공품이 다음 공정에서 재고로 존재하는 것이다. 일반적인 대기행렬모형에서는 대기 고객이 대기행렬에 있다는 것은 처리를 기다리는 고객으로 표시된다. 대기 고객은 자신의 순서가 되면 바로 처리에 들어가게 되는 것이다. 하지만 본 모형에서는 대기 고객을 나타내는 것은 작업지시를 나타내는 칸반카드이며 이러한 칸반카드의 숫자를 y_i 로 표시한 것이다. 하지만 일반적인 대기행렬 모형과의 차이점은 이러한 작업지시를 나타내는 칸반카드가 자신의 순서가 된다고 바로 처리에 들어가는 것이 아니고 이전 공정을 마친 재공품 재고(x_{i-1})가 있을 경우에 공정이 시작될 수 있는 것이다. 즉 본 모형에서 공정처리의 시작은 칸반카드와 해당 공

정의 재공품 재고가 동시에 존재할 때 가능한 것이다. 일반적으로 대기행렬 모형에서는 고객의 처리에 별도의 재공품이 필요하지 않는 경우를 나타낸다는 점과 차이가 있는 것이다.

그러므로 우리의 모형에서는 일반적인 대기행렬모형과는 달리 작업 지시를 나타내는 고객과 재공품을 함께 표현할 필요가 생긴다. 이러한 재공품 재고는 box로 표시하였고 후공정에서 온 칸반은 생산주문으로 대기행렬에 있는 고객에 해당하는 것이다. 최종 단계의 box는 최종소비자의 수요를 충족시키는 완제품의 창고에 해당하는 것이다. 일반적인 대기행렬 시스템과의 차이가 최종단계에서 현저하게 나타나는데 본 모형에서는 완제품의 재고를 최대 k_n 확보하고자 하는 것으로 고객의 주문에 대비하여 재고를 준비하는 시스템이다.



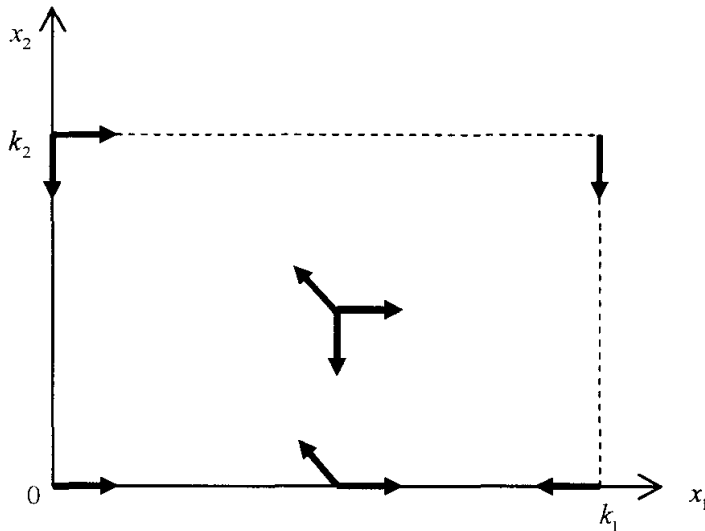
〈그림 3〉 n차 칸반 시스템 모형

IV. 상태 전이(state transition)

본 글에서 다루는 시스템에서 우리는 상태를 나타내는 상태변수 벡터를 x 로 표시하기로 하자. 상태변수는 공정 1 부터 공정 n까지의 각 공정에서 처리를 마친 재공품의 개수를 나타내는 것으로서 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 로 표시하기로 하자. 그러면 상태변수벡터의 전이에 대해 다음의 경우를 구체적으로 살펴볼 수 있다.

먼저 $i = 2, 3, \dots, n$ 에 대해서 $x' = (x_1, \dots, x_{i-1} - 1, x_i + 1, \dots, x_n)$ 로 표시하고 $x^1 = (x_1 + 1, x_2, \dots, x_n)$, $x^{n+1} = (x_1, x_2, \dots, x_n - 1)$ 로 표시하기로 하자. 상태변수의 전이(transition)에는 두 가지 종류가 있다. 먼저 x 가 내점(interior point)일 경우인데 여기서 x 가 내점이라 함은 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 에서 $x_i < k_i, \forall i$ 을 나타내는 것이다. 이는 각 공정을 마친 재공품의 숫자가 칸반카드의 숫자보다 작은 경우이며 따라서 각 공정에 처리를 요구하는 작업지시 칸반카드가 존재한다는 것을 의미한다. 이때 가능한 전이는 $x \rightarrow x'$ 로써 이는 i 공정에서 한 개의 재공품에 처리를 마친 후 다음 공정인 i+1으로 이동한 경우를 말한다. 다른 한 종류의 전이는 x 가 경계점(boundary point)일 경우에 발생한다. 여기서 x 가 boundary point이라 함은 어떠한 i에 대해 $x_i = k_i$ 인 경우를 말한다. 이 경우에는 공정 i를 마친 재공품이 충분한 경우로, 즉 모든 칸반카드가 해당 공정의

재공품에 부착되어 있는 경우로써 더 이상 공정 i에서는 처리주문, 즉 칸반이 없게 되어 재공품 사용에 따른 칸반이 도착할 때까지 작업을 일시적으로 중단하게 되는 것이다. 따라서 이 경우 $x \rightarrow x'$ 은 불가능하고 그 이외의 전이만이 가능하여진다. 이러한 경우가 칸반의 조정효과를 나타내는 것으로 과도한 재공품의 재고수준을 제어하는 칸반시스템의 기능을 표현하는 것이라고 할 수 있다.



<그림 4> 가능한 상태전이

간단한 예에서도 볼 수 있듯이 각 설비에서의 재공품의 개수에는 상한선이 존재하여 통제가 되며 재공품의 개수가 칸반갯수인 상한에 이르면 내부로의 전이만이 가능하여짐을 알 수 있다.

V. 확장

우리가 본 논문에서 다룬 n차 선형 칸반시스템은 최종제품의 재고를 최대 k_n 개까지 허용하는 make-to-stock system을 의미하는 것이다. 이러한 모형이 파라미터의 값에 따라 다양한 시스템으로 변신할 수 있음을 살펴보기로 하자. 먼저 최종 소비자와의 접점인 설비 n에서의 칸반카드의 숫자가 0인 경우($k_n=0$)를 해석하여 보자. 추가로 -의 재고를, 즉 주문에 비해 재고가 부족한 상황을 상태변수로 허용할 수 있다고 가정하자. 이 경우 소비자로부터 주문이 들어오면 $x_n = -1$ 이 되고 이는 $y_n = 1$ 을 의미하고 하나를 생산하여야 함을 나타낸다. 따라서 재고

가 없는 상태에서 주문을 받은 경우 음의 재고수준으로 나타낸다면 make-to-order system을 표현할 수 있는 것이다.

다음으로 우리가 다루는 시스템을 closed queueing network와 비교를 하여보자. Closed queueing network에서는 시스템내 고객의 숫자가 항상 일정함을 알 수 있다. 우리의 시스템에서는 각 설비에서 공정을 마친 재공품의 개수와 공정처리를 대기중인 대기고객의 개수의 합에 해당하는 칸반카드의 숫자는 일정하다. 즉 각 설비에서 순환되고 있는 칸반카드의 개수는 일정하지만, 상태변수를 나타내는 재공품의 개수인 x_i 는 0에서 k_i 까지의 범위에서 움직이게 된다. 따라서 고객의 총숫자가 일정한 closed queueing network와는 구별이 된다.

그러면 각 설비에서 대기공간의 제약이 있는 경우와의 비교를 하여보기로 하자. N serial station queueing system에서 각 station 별로 고객의 대기공간 제약이 있는 경우는 고객의 주문이 발생하면 station 1에 생산주문으로 도착하여 생산을 기다리게 되며 이들 대기고객의 숫자가 제한이 되는 것을 의미한다. 하지만 우리가 다루는 시스템은 기본적으로 make-to-stock시스템으로 최종 제품의 재고를 최대 k_n 까지만 허용하는 경우라고 할 수 있다.

일반적인 대기행렬모형에서는 고객의 도착이 생산을 촉구하는 production order가 되지만 우리가 다루는 시스템에서는 칸반에 의한 생산 주문이 있어야 할 뿐만아니라 이전 설비에서 공정을 마친 재공품 재고가 존재하여야만 생산이 이루어질 수 있다는 점이 차이이다.

참 고 문 헌

1. Leonard Kleinrock, Queueing systems, New York : Wiley, 1974
2. Joseph S. Martinich, Production and operations management: an applied modern approach, New York : Wiley, 1997