

최적 Kanban 수거 시간에 대한 분석

이 상 복*

Analysis of Optimal Kanban Cycle Time

Sangbok Ree*

■ Abstract ■

In this paper, we take into consideration the optimal cycle time in a kanban system. Even though there are many studies in the literature published in the past, it is rare to find a paper dealing with kanban cycle time. We consider manufacturing structure configured in the real field and suggest kanban cycle time for the cases of linear, tree assembled, distributed, general and mixed structures. Also we give numerical example for each structure.

1. 서 론

현재는 미국의 생산성이 일본을 앞선 듯 하나, 지난 수년 동안 일본 기업들의 생산성과 품질 향상으로 여러 나라에서 일본의 생산관리 기법에 많은 관심을 보여왔다. 일본 생산관리 기법은 적시시스템(Just-In-Time JIT)과 전사적 품질관리(Total Quality Control TQC)로 특징 지어진다. TQC는 전 사원이 전 분야에서 품질향상을 위해, 조금의 불량도 허용하지 않는 마음 자세부터 시작한다. 이

는 사원들의 자발적인 참여가 필요하기 때문에 회사에서는 자발적인 참여가 이루어지게 분위기를 조성하고 교육을 실시해야 한다. 이점은 구미 특히 미국기업이 전문가로 이루어진 스แต 중심의 운영과 차이를 보이고 있는 부분이다. JIT는 재고를 허용하지 않는 엄격한 생산관리 기법이다. JIT를 실제 현장에 구현한 토요타 자동차의 Kanban 시스템은 일본기업이 성공한 일본식 생산방식으로 알려져 있다. 또한 많은 학자들이 Kanban 시스템을 수학적으로 해석하고 많은 방법으로 해법을 제

* 서경대학교 산업공학과

시하고 있다. Kanban 시스템은 Kanban의 개수로 재고와 생산 속도를 통제하는 관리 기법이다.

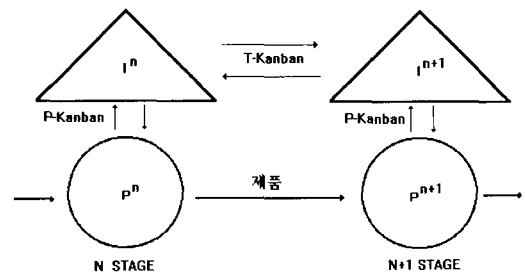
본 논문에서는 Kanban을 수거하여 다시 사용하게 하는 Kanban 수거 시간에 대하여 연구를 한 것이다. Kanban 수거는 Kanban 수거자가 일정한 시간마다 후속공정에서 선행공정으로부터 가져온 부품을 사용함으로써 생기는 떨어뜨려진 Kanban을 수거하여 선행공정에 보내주어 선행공정에서 생산할 수 있게 하는 것이다. Kanban 수거 시간 분석은 일정한 Kanban 수거 시간을 어떻게 정해줄 것인지에 대한 연구이다. 아직 까지 Kanban을 수거하는 시간에 대하여 많은 연구가 이루어지지 않고 있다. 최적 Kanban 수거 시간결정 문제도 최적화 문제 중 하나이다. 이 논문에서는 먼저 Kanban 시스템을 살펴보고, 여러 생산형태에 따라서 결정할 Kanban 수거 시간에 대하여 살펴본다.

1.1 Kanban 시스템 개요

Kanban 시스템은 JIT 시스템을 토요타 자동차 생산 현장에서 구현한 생산통제 시스템이다. 이제 Kanban 시스템은 토요타 자동차 의미를 넘어 일본식 생산 방식을 뜻하는 것으로 사용된다. Kanban은 카드를 뜻하며 이 카드는 컨테이너(Bin)에 붙인다. 이 카드에는 컨테이너에 담은 부품명, 생산량, 생산장소, 이동장소 등의 정보가 기록되어 있다. Kanban 시스템은 Kanban의 수로 생산속도와 재고를 통제한다. Kanban 개수가 많으면 생산은 빨라지나 재고가 많아지고, Kanban 개수가 너무 적으면 재고 고갈로 다음 공정에서 작업이 멈춰질 수 있다. 현장에서는 현장 전문가가 처음엔 적당한 Kanban 수로 운영하다가 차차 Kanban 개수를 줄이는 방식으로 운영하고 있다. Kanban 시스템 운영은 단일 Kanban 시스템과 복수 Kanban 시스템이 있다. 원리는 똑 같으나 복수 Kanban 시스템은 생산과 이동이 다른 Kanban으로 운영되고 단일 Kanban 시스템은 하나의 Kanban으로 생산과 이동을 통제 한다. 현 일본에서는 70% 이상 복

수 Kanban 시스템을 사용한다.

[그림 1]은 복수 Kanban 시스템의 Kanban 흐름도이다. 부품은 n stage에서 n+1 stage으로 흐른다고 하자. 1) n+1 stage에서 부품이 필요하면 빈 컨테이너에 이동 Kanban(T-Kanban)을 부착하여 n-stage I^n 로 보낸다. 2) I^n 에 부품이 가득찬 컨테이너가 있으면 부품 컨테이너에 붙은 생산 Kanban(P-Kanban)을 떼어 놓고, n+1 stage에서 온 이동 Kanban을 붙여 n+1 stage의 I^{n+1} 로 보낸다. 3) n stage에서는 떨어진 생산 Kanban (P-Kanban)은 빈 컨테이너에 붙여서 P^n 으로 보내면, P^n 에서 보내온 생산 Kanban 수 만큼 생산해서 I^n 으로 보낸다. 4) n+1 stage에서는 이동 Kanban이 붙은 컨테이너를 I^{n+1} 에 보관한다. P^{n+1} 에서 사용할 때는 이동 Kanban을 떼어놓고 사용한다. 떨어진 이동 Kanban은 일정한 시간마다 다시 I^{n+1} 에서 I^n 으로 보낸다. 이동 Kanban은 일정한 시간마다 이동한다. 빈 컨테이너는 Kanban과 관계없이 이동된다. 컨테이너의 수는 Kanban 수보다 더 많다. 컨테이너는 Kanban이 없으면 생산에 사용할 수 없다.



[그림 1] 복수 Kanban 시스템

1.2 Kanban 시스템의 여러 문제점 및 연구 배경

Kanban 시스템 운영시 성능을 높이기 위해서는 결정해야하는 결정변수로는 각 공정별 공정시간(기계에 따라 생산 능력이 달라지므로 어느 정도

성능의 기계를 구입할 것인지를 결정한다), Kanban 컨테이너 크기, 생산계획 그리고 Kanban 개수 등이 있다. 최적 Kanban 수거 시간은 이러한 결정변수가 결정되었을 때 결정할 수 있다.

지금까지 발표된 많은 논문은 Kanban 개수 결정문제에 대하여 연구가 이루어 졌다[1,3]. 그외에 MRP와 Kanban 시스템의 비교[2], Kanban 시스템의 시뮬레이션 연구[7], 수학적 모델로 최적해 및 가능해 접근[2,4,5]의 방식 등 많은 논문이 발표되고 있으나, 최적 Kanban 수거 시간에 대한 연구는 발표되지 않고 있다. 이를 정리하면 다음과 같다 <표 1>.

<표 1> Kanban 시스템 결정 변수

결정변수	해 법
각 공정별 공정시간	서구의 기본 방식은 라인 밸런싱 문제로 인식하여 작업을 균등하게 배분하고자 한다. 일본 현장에서는 라인 밸런싱 문제를 수학적으로 해결하기 보다는 II/W 문제로 인식하여 자체적으로 개발한 자동화 기구로 공정의 문제점을 해결한다.
컨테이너 크기	lot size 결정 문제로 고전적 재고이론 해법으로 해결한다.
생산계획	스케줄링 문제로 고전적인 많은 연구가 보고되고 있다.
Kanban 개수	수학 모델링을 이용한 해법과 시뮬레이션 기법을 이용한 연구가 보고되고 있다. Kanban 시스템의 가장 핵심적인 결정변수 중 하나이다.
Kanban 수거 시간	아직 Kanban 수거 시간에 대한 연구가 발표되지 않고 있다.

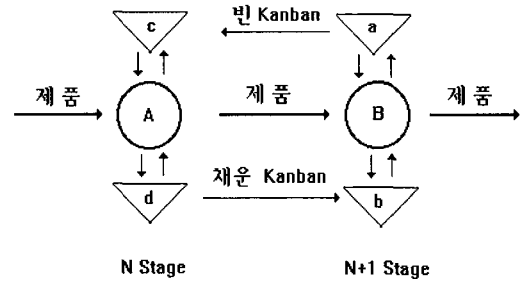
2. 최적 Kanban 수거 시간

Kanban 시스템에서 각 공정별 공정시간, 선행 공정 제품과 후행 공정 제품간의 부품 조립 비율 (BOM), Kanban 컨테이너 크기, 생산계획 그리고 Kanban 개수는 결정되었다고 가정한다.

Kanban 이동시간은 기존의 논문에서는 무시했다. 즉, 이동할 수 있을 때는 언제든지 즉시 이동이 가능하였다. 이 논문에서는 일정한 시간마다 Kanban을 수거하는 경우에 최적 Kanban 수거 시간에 대하여 연구한 것이다. 생산공정의 여러 가지 형태 각 경우별로 Kanban 수거 시간을 분석하였다.

2.1 2 단계 공정인 경우

앞 [그림 1]을 Kanban 흐름만을 중심으로 다시 그리면 다음 [그림 2]와 같다.



[그림 2] Kanban 흐름을 중심으로 그린 2단계 시스템

a = 단계 B에서 사용되어 단계 A로 이동되기 위하여 대기하고 있는 Kanban 저장소.

b = 단계 A에서 채워진 컨테이너에 부착된 Kanban 저장소, 단계 B에서 사용되는 즉시 Kanban만 분리되어 'a'에 저장된다.

c = 단계 B에서 이송되어온 Kanban이 단계 A에서 생산되기 전에 보관되는 저장소.

d = 단계 A에서 생산되어 제품을 담은 컨테이너에 부착된 Kanban이 단계 B로 이송되기전에 보관되는 저장소.

P_A = 단계 A에서 단계 B와 관련된 Kanban 하나를 생산하는데 소요되는 공정 시간.

P_B = 단계 B에서 단계 A와 관련된 Kanban 하나를 사용하는데 소요되는 공정 시간.

KN_{AB} = 단계 A와 단계 B 사이 운영되는 Kanban 총수.

$KN_{AB}(a, t_0) = KN_{AB}$ 중 시간 t_0 에 단계 B의 a에서의 Kanban 수, 이 수는 단계 A로 이동되어야 한다.

$KN_{AB}(b, t_0) = KN_{AB}$ 중 시간 t_0 에 단계 B의 b에서의 Kanban 수, 이 수는 단계 B에서 사용되면 a로 이동되어야 한다.

$KN_{AB}(c, t_0) = KN_{AB}$ 중 시간 t_0 에 단계 A의 c에서의 Kanban 수, 이 수는 단계 A공정에서 사용되어 c로 이동된다.

$KN_{AB}(d, t_0) = KN_{AB}$ 중 시간 t_0 에 단계 A의 d에서의 Kanban 수, 이 수는 단계 B의 b로 이동되어야 한다.

전체 공정은 고장이 없다는 가정에서 Kanban 수거시간을 생각한다. 임의의 시간 t_0 에서, A의 Kanban 수거 가능한 시간은 A의 공정이 멈추게 해서는 안되는 시간 안에 후속 공정에서 빈 Kanban을 수거해야한다. 각 경우에 Kanban 이동 시간은 현재 생산하고 있는 하나의 컨테이너 생산 시간에서 생산할 생산 명령 Kanban([그림 2]에서 A의 c 위치, B의 a에서 이동되어온 Kanban은 즉시 생산 명령 Kanban으로 바뀐다)을 모두 사용하는 시간 사이에 이동되는 것이다. 때로는 생산할 생산 명령 Kanban이 없을 때도 있다. 이러한 경우를 고려하여 이동될 시간의 범위는 생산이 멈추기 전까지이다. 후속공정에 수거할 Kanban이 있다면 식 (1)과 같이 표현되고, 후속공정의 수거할 Kanban이 없다면 후속 공정에서 이동될 수 있는 Kanban을 기다려야한다. 이때는 임의의 시간 t_0 에서 후속공정에서(B) 하나의 Kanban을 떨어뜨리는 시간 이후와 선행공정에서(A) 하나의 Kanban을 사용한 시간 이후와 선행공정에서 사용가능한 Kanban 수를 생산하는 시간안에 이동해야한다. 이를 식으로 표현하면 (1')식과 같다.

만약 $KN_{AB}(a, t_0) > 0$ 이면,

$$CT_A \in [MIN\{P_A, KN_{AB}(c, t_0)*P_A\}, MAX\{P_A, KN_{AB}(c, t_0)*P_A\}] \quad (1')$$

만약 $KN_{AB}(a, t_0) = 0$ 이면,

$$CT_A \in [MIN\{MAX\{P_B, P_A\}, KN_{AB}(c, t_0)*P_A\}, MAX\{MAX\{P_B, P_A\}, KN_{AB}(c, t_0)*P_A\}] \quad (1'')$$

마찬가지로, 임의의 시간 t_0 에서, B에서 Kanban 수거 가능한 시간은 B의 공정이 멈추게 해서는 안되는 시간 범위이다. 선행공정(A)에서 후속공정(B)로 Kanban을 이동할 수 있는 것은 먼저 후행공정에서 빈 Kanban을 선행공정으로 이동한 후에 이동가능한 개수만큼 이동한다. (1), (2)식과 같은 원리로, 후속공정(B)에서 하나의 단위를 생산하는 시간과 생산 가능한 B의 c에 있는 Kanban을 모두 생산하는 시간 사이에 이동되어야 한다. 때로는 선행공정에서 생산한 Kanban이 없을 때도 있다. 이러한 경우를 고려하여 이동될 시간의 범위는 후속공정의 생산이 멈추기 전까지이다. 선행공정에 수거할 Kanban이 있다면 식 (2)과 같이 표현되고, 선행공정에 수거할 Kanban이 없다면 선행 공정에서 이동될 수 있는 Kanban을 기다려야한다. 이때는 임의의 시간 t_0 에서 선행공정에서 하나의 Kanban을 떨어뜨리는 시간 이후와 후속공정에서 하나의 Kanban을 사용한 시간 이후이며, 후속공정에서 사용가능한 Kanban 수를 사용한 시간안에 이동해야한다. 이를 식으로 표현하면 (2')식과 같다.

만약 $KN_{AB}(d, t_0) > 0$ 이면,

$$CT_B \in [MIN\{P_B, KN_{AB}(b, t_0)*P_B\}, MAX\{P_B, KN_{AB}(b, t_0)*P_B\}] \quad (2')$$

만약 $KN_{AB}(d, t_0) = 0$ 이면,

$$CT_B \in [MIN\{MAX\{P_B, P_A\}, KN_{AB}(b, t_0)*P_B\}, MAX\{MAX\{P_B, P_A\}, KN_{AB}(b, t_0)*P_B\}] \quad (2'')$$

공정 A, B에서 Kanban 이동 가능 시간은 두 공

정의 공통부분이다. 즉,

$$CT_{AB} \subseteq CT_A \cap CT_B \text{ ----- (3)}$$

공정이 2 단계인 경우의 Kanban 수거 시간은 (3)식의 결과와 같이 시간 범위로 생각할 수 있다.

예제 1) 위 [그림 2]의 경우에 간단한 데이터로 Kanban 수거 시간을 구해보면 다음과 같다. 문제를 간단히 하기 위하여 Kanban 시스템의 결정변수 들인 컨테이너 크기, 부품제조 비율, 생산계획, 초기 Kanban 개수 등은 주어졌다고 가정한다.

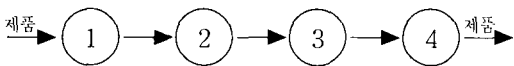
공 정	A	B
공정 시간	2	1
t_0 에 c에서 KANBAN 수	3	
t_0 에 b에서 KANBAN 수	5	

(1)식에서 $CT_A=[2, 6]$, (2)식에서 $CT_B=[1, 5]$ 이므로 (3)식에서 Kanban 수거 시간 $CT_{AB}=[2, 5]$ 이다. 이 시간중에 적당한 시간을 선택할 수 있다.

2.2 공정이 선형 연속형태로 이루어진 경우

먼저번의 공정이 2개인 경우보다 조금 복잡한 공정이 [그림 3]과 같이 선형으로 이루어진 경우를 살펴보자. 각 공정간의 빈 Kanban 수거 가능시간 계산은 공정이 2단계만 있는 경우와 같다. 전 공정의 수거가능 공통 시간을 구하면, 두 공정간의 수거가능 시간의 공통부분과 같다. 즉 식(4)와 같이 표현된다.

$$CT \subseteq \bigcap_{i=1}^{n-1} CT_{i,i+1} \text{ ----- (4)}$$



[그림 3] 선형 공정

공정이 많을 때에는 전체를 한 번에 수거할 수 있는 공통 가능 수거 시간이 없을 때도 있다.

(Kanban 수거자의 이동시간을 고려하면 외판원 문제나 시간제약하의 차량운행문제(Vehicle Routing with Time Window Problem)로 해석할 수 있다. 여기서는 문제를 단순하게 하기 위하여 Kanban 수거자의 이동시간을 고려하지 않았다.)

만약 $CT = \emptyset$ 이라면, 동시에 모든 Kanban을 수거 이동할 수 없으므로, 여러 사람이 나누어 작업을 하던가, 한 사람이 여러번 작업이 필요한 경우이다. 이 경우엔 CT 값을 몇 부분으로 분류해야 한다. 필요 Kanban 수거자 수를 쉽게 구하는 방법으로는 모든 공정간의 CT 값들을 그림으로 그려서 나누는 방법이 있다. 그려진 그림은 선형으로 그려지기 때문에 쉽게 나눌 수 있다.

예제 2) 공정이 선형을 갖는 경우에 예제 1과 같이 문제를 풀면 다음과 같다.

공 정	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
공정 시간	4	3	5	6	8	9	3	5	3	
t_0 에 전단계에서 생산해야 할 KANBAN 수 ($KN_{AB}(c, t_0)$)	4 3 3 4 3 4 3 2									
t_0 에 후단계에서 생산되기 전의 KANBAN 수 ($KN_{AB}(b, t_0)$)	3 4 4 3 2 4 3 3									

각 공정간의 수거시간을 계산하면 다음과 같다. 각 공정간 계산 방법은 모두 공정이 2개만 있는 경우와 같다.

$CT_{12} = (4,16) \cap (3,9) = (4,9)$ 수치 4는 공정 1의 공정시간이고, 16은 공정 1의 공정시간 * 공정 1의 c위치에 있는 Kanban 수이다. 수치 3은 공정 2의 공정시간이고, 수치 9는 공정 2의 공정시간 * 공정 2의 b위치에 있는 Kanban 수로 구한 것이다. 같은 방법으로 이들을 구하면,

$$CT_{23} = (3,9) \cap (5,20) = (5,9),$$

$$CT_{34} = (5,15) \cap (6,24) = (6,15),$$

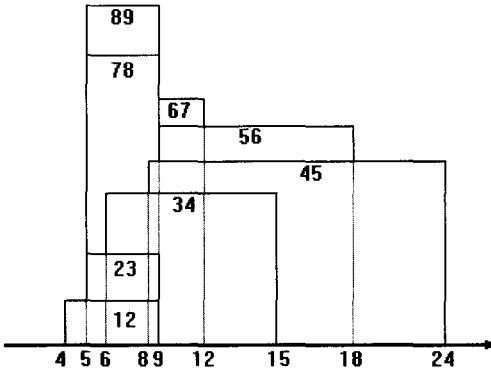
$$CT_{45} = (6,24) \cap (8,24) = (8,24),$$

$$CT_{56} = (8,24) \cap (9,18) = (9,18),$$

$$CT_{67} = (9,36) \cap (3,12) = (9,12),$$

$$CT_{78} = (3,9) \cap (5,15) = (5,9),$$

$CT_{89} = (5,10) \cap (3,9) = (5,9)$ 이 된다. 이들의 범위를 그림으로 그리면 다음 [그림 4]와 같다



[그림 4] 예제 2의 각 공정간 이동 시간 범위

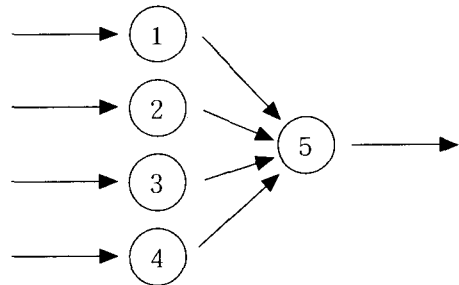
이들을 수거 시간의 공통부분이 많은 부분을 묶으면, 제 1그룹 = $CT_{12} \cap CT_{23} \cap CT_{34} \cap CT_{45} \cap CT_{89} = (8,9)$, 제 2그룹 = $CT_{56} \cap CT_{67} \cap CT_{78} = (9,12)$ 2그룹으로 나눌 수 있다. 제 1그룹과 제 2그룹은 서로 배반관계(exclusive)에 있다. 예제와 같이 간단한 문제에서는 그림으로 쉽게 그룹을 분리하여 나눌 수 있지만, 복잡한 문제에서는 군집화 방법(clustering analysis)의 계층적 방법(hierarchical methods)을 사용하면 쉽게 해를 구할 수 있다. 계층적 군집화 분석법은 단계적으로 부그룹들(subgroups)을 묶어가며 최종 분류를 얻는 기법이다. 이 방법은 시작할 때, 가까운 것끼리 합하는 방법(agglomeration)이다. 매 단계에서 새 그룹들을 얻는 방법은 거리에 따라 가장 가까운(similar) 두 그룹을 합함으로써 새 그룹을 얻는 방법이다. 이 방법은 마지막엔 그룹 수를 1개일 때까지 진행과정을 행하므로, 현실적으로 수거시간이 가능한 것 중 적당한 것을 찾으면 된다. 본 논문에서 제시하는 공통부분 묶는 방법은 모두 계층적 방법으로 풀 수 있다[5].

2.3 공정이 나무조합(tree assembled structure)인 경우

공정이 나무조합 형태는 조립라인에서 많이 사용되는 공정형태이다[그림 5]. 이러한 형태의 Kanban 수거 시간을 살펴보자. 나무조합 공정의 Kanban 수거 시간은 2단계 공정과 같은 방법으로 모든 공간간의 수거 가능 시간을 구하여 공통 시간 구역을 찾는 것이다. 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$CT \in \bigcap_{i=1}^k CT_{i,j} \text{ ----- (5)}$$

j 는 조립되는 꼭지점이고, k 는 j 로 모이는 각 공정들의 수이다. 조립 공정이 많아 공통 수거 가능시간 $CT = \phi$ 이라면, 전체를 한 번에 수거할 수 없는 경우로 위에서 제시한 방법으로 각 공정별로 가능 범위 시간을 구해서 몇 개의 그룹으로 만드는 것이다.



[그림 5] 공정이 나무조합인 경우

예제 3) 나무조합 공정을 갖는 쉬운 예제를 풀면 다음과 같다.

공정	1→5	2→5	3→5	4→5
공정 시간	4 3	5 5	6 5	3 5
t_0 에 전단계에서 생산해야 할 KANBAN 수 ($KN_{AB}(c, t_0)$)	4	3	3	4
t_0 에 후단계에서 생산되기 전의 KANBAN 수 ($KN_{AB}(b, t_0)$)	3	4	4	3

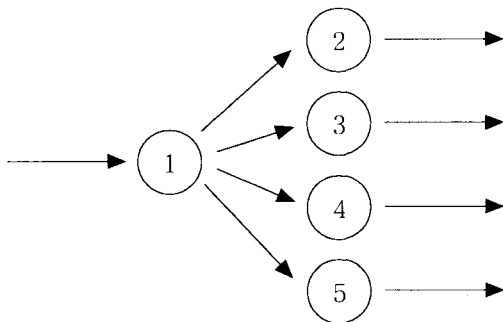
$$\begin{aligned}
 CT_{15} &= (4,16) \cap (3,9) = (4,9), \\
 CT_{25} &= (5,15) \cap (5,20) = (5,15), \\
 CT_{35} &= (6,18) \cap (5,20) = (6,18), \\
 CT_{45} &= (3,12) \cap (5,15) = (5,12) \\
 CT &= \bigcap_{i=1}^k CT_{i,i} = (6,9)
 \end{aligned}$$

2.4 공정이 분지형(distributed structure)인 경우

분지형 공정은 나무조합 형태의 반대로 조립 초기 라인에서 많이 사용되는 공정형태이다[그림 6]. 이러한 형태의 Kanban 수거 시간도 먼저 살펴본 2단계 형태를 기본으로 계산한다. 먼저 모든 공정간의 가능 수거 시간을 구하여 공통 시간 구역을 정한다. 즉 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$CT \in \bigcap_{i=1}^k CT_{i,i} \text{ ----- (6)}$$

j 는 분지되는 꼭지점이고, k 는 j 에서 분지되는 각 공정들의 수이다. 분지 공정이 많아 공통 수거 가능시간이 $CT = \phi$ 이라면, 먼저 논의한 대로 각 공정별로 가능한 범위를 그려서 전체를 몇 개의 그룹으로 나누어 그려야 한다.



[그림 6] 공정이 분지형인 경우

예제 4) 분지형 공정을 갖는 경우에 간단한 예를 풀면 다음과 같다.

공정	1 ← 2	1 ← 3	1 ← 4	1 ← 5
공정 시간	4 3	4 7	4 6	4 5
t_0 에 전단계에서 생산해야 할 KANBAN 수 ($KN_{AB}(c, t_0)$)	4	3	3	4
t_0 에 후단계에서 생산되기 전의 KANBAN 수 ($KN_{AB}(b, t_0)$)	3	4	4	3

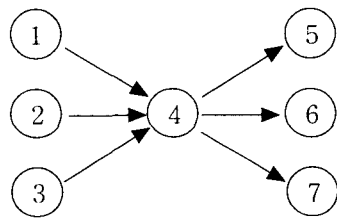
$$\begin{aligned}
 CT_{12} &= (4,16) \cap (3,9) = (4,9), \\
 CT_{13} &= (4,12) \cap (7,28) = (7,12), \\
 CT_{14} &= (4,12) \cap (6,24) = (6,12), \\
 CT_{15} &= (4,16) \cap (5,15) = (5,15) \\
 CT &= \bigcap_{i=2}^5 CT_{1i} = (7,9)
 \end{aligned}$$

2.5 공정이 일반적 형태(general structure)인 경우

일반적 형태의 공정은 공정 형태가 분지인 경우와 나무조립의 경우를 합한 것이다[그림 7]. 공정이 일반적 형태의 Kanban 수거 시간은 2단계 공정과 같은 방법으로 모든 공정간의 가능 수거 시간을 구하여 공통 시간 구역을 정하는 것이다. 즉 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$CT = [\bigcap_{k=1}^m CT_{ki}] \cap [\bigcap_{j=1}^n CT_{ij}] \text{ ----- (7)}$$

i 는 조립 및 분지되는 꼭지점이다. k 는 i 로 모이는 각 공정들이고, j 는 k 에서 분지되는 각 공정들이다. 조립공정이 많아 공통 수거 가능시간이 $CT = \phi$ 이면 제시된 방법으로 각 공정별로 가능한 범위를 그려서 전체를 몇 개로 나눈다.



[그림 7] 공정이 일반적인 경우

예제 5) 공정이 일반형태를 갖는 경우에 간단한 예제를 풀면 다음과 같다.

공 정	1←4	2←4	3←4	4←5	4←6	4←7			
공정 시간	3	4	4	4	5	4	3	4	6
t_0 에 전단계에서 생산해야 할 KANBAN 수 ($KN_{AB}(c, t_0)$)	4	3	3	4	5	4			
t_0 에 후단계에서 생산되기 전의 KANBAN 수 ($KN_{AB}(b, t_0)$)	4	3	3	4	5	4			

$$CT_{14} = (3,12) \cap (4,16) = (4,12),$$

$$CT_{24} = (4,12) \cap (4,12) = (4,12),$$

$$CT_{34} = (5,15) \cap (4,12) = (5,12),$$

$$CT_{45} = (4,16) \cap (5,20) = (5,16),$$

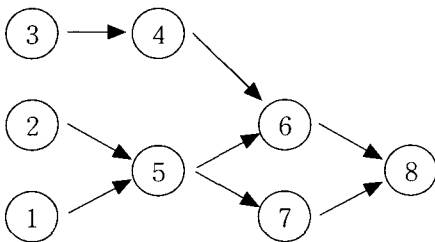
$$CT_{46} = (4,20) \cap (3,15) = (4,15),$$

$$CT_{47} = (4,16) \cap (6,24) = (6,16),$$

$$CT = [\bigcap_{i=2}^3 CT_{4i}] \cap [\bigcap_{i=5}^7 CT_{4i}] = (6,12)$$

2.6 복합 형태인 경우

작은 공장의 생산 시스템을 간단하게 Kanban 시스템으로 그려보면 다음 [그림 8]과 같다. 복합 형태를 갖는 그림에는 앞에서 논의한 선형, 조립, 분지 및 일반형태의 공정을 모두 갖고 있다. Kanban 수거 시간에 대한 방법은 모든 공정간의 Kanban 수거시간을 구하여 전체 공정의 공통부분을 구한다. 공통 수거 시간 CT 가 ϕ 라면 몇 부분으로 나눈다.



[그림 8] 복합형태

예제 6) 공정이 복합공정을 갖는 경우에 간단한 예제로 문제를 풀면 다음과 같다.

공 정	1←5	2←5	3←4	4←6	5←6	5←7	6←8	7←8	
공정 시간	3	4	4	5	4	5	4	6	7
t_0 에 전단계에서 생산해야 할 KANBAN 수 ($KN_{AB}(c, t_0)$)	4	3	3	4	5	4	5	4	
t_0 에 후단계에서 생산되기 전의 KANBAN 수 ($KN_{AB}(b, t_0)$)	4	3	3	4	5	4	5	4	

$$CT_{15} = (3,12) \cap (4,16) = (4,12),$$

$$CT_{25} = (4,12) \cap (4,12) = (4,12),$$

$$CT_{34} = (5,15) \cap (4,12) = (5,12),$$

$$CT_{46} = (4,16) \cap (5,20) = (5,16),$$

$$CT_{66} = (4,20) \cap (5,25) = (5,20),$$

$$CT_{57} = (4,16) \cap (6,24) = (6,16),$$

$$CT_{88} = (5,25) \cap (7,35) = (4,15),$$

$$CT_{78} = (6,24) \cap (7,28) = (7,24),$$

$$CT = \bigcap_{i,j} CT_{ij} = (7,12)$$

3. 결론 및 추후 연구과제

이 논문에서는 Kanban 시스템을 운영하는 공정에서 최적 Kanban 수거 시간에 대하여 연구하였다. 최적 Kanban 수거 시간에 대한 연구가 아직 발표되지 않고 있으나 현실적으로 이 문제를 연구할 가치가 충분하다. 여기서 쉬운 예제로 2 단계인 경우에 대하여 해법을 자세히 살펴보고, 이를 선형, 조립, 분지, 일반 및 복합의 공정으로 확장하여 예제를 풀었다. 여기서 제시한 방법을 실제 현장에 적용하는 문제가 추후 과제로 남아 있다.

참 고 문 헌

- [1] 강석호, 이상복, "A Study on Operations in Single-Card Kanban System with a general-Type-Structure Production Process," 「대한산업공학회지」, 제16권 제2호 (1990), pp.109-117.
- [2] 이상복, 강석호, "Kanban 함수를 이용한 Kanban 시스템의 운영에 대한 연구", 「한국경영과학회지」, 제20권 제2호(1995), pp11-22.
- [3] 이상복 역, 「일본 생산 경영 및 기술의 핵심 교훈」, 1판, 경문사, 서울, 1996.
- [4] Bitran, C.R. and L. Chang, "A Mathematical Programming Approach to a Deterministic Kanban System," *Management Science*, Vol.33, No.4(1987), pp.427-439.
- [5] Hand, D. J., "*Discrimination and Classification*," John Wiley and Sons, New York, 1981.
- [6] KIMURA, O and H. TERADA, "Design and Analysis of Pull System, a Method of Multi-stage Production Control," *International Journal of Production Research*, Vol.19, No.3(1981), pp.241-253.
- [7] KRAJEWSKI, L.J., B.E. KING, L.P. RITMAN and D.S. WONG, "Kanban, MRP and Shaping the Production Environment," *Management Science*, Vol.33, No.1(1987), pp.39-57.