

안정된 수요를 갖는 생산라인에서 Kanban을 사용한 DBR 시스템 구현

고시근^{1*} · 김재환²

¹부경대학교 산업공학과/ ²한국해양대학교 응용과학부

Implementation of DBR System with Kanban in a Production Line of Static Demand

Shie-Gheun Koh¹ · Jae-Hwan Kim²

¹Department of Industrial Engineering, Pukyong National University, Pusan, Korea, 608-739

²Division of Applied Science, Korea Maritime University, Pusan, 606-791

A recently developed alternative to traditional production planning and control systems such as material requirement planning(MRP) and just-in-time(JIT) is the drum-buffer-rope(DBR). The DBR now being implemented in a growing number of manufacturing organizations enables better scheduling and decision making on the shop floor. In implementing the DBR, however, an information system is usually needed to transmit the signal that runs from the constraint to material release. In this paper we propose a different mechanism to transmit the signal in the case that the demand of product is stable, which uses the well-known Kanban system. To improve the reality, this paper shows an example of the Kanban format, its operation, and calculation of the number of Kanbans.

Keywords: TOC(theory of constraints), Kanban, DBR(drum-buffer-rope)

1. 서론

Eli Goldratt에 의해 제시된 제약이론(TOC; Theory of Constraints)은 시스템의 지속적인 개선을 추구하는 접근방법으로서 그 적용분야가 급격히 확산되고 있다. 최광식(2001)에 따르면, TOC는 “시스템의 목표를 달성하는 데 제약이 되는 요인을 찾아 집중적으로 개선함으로써, 단기간에 가시적인 경영개선의 성과가 나타나고, 장기적으로는 지속적인 경영개선을 추구하여 시스템의 전체적 최적화를 달성하는 프로세스 중심의 경영혁신 기법”이라고 정의된다. TOC 개념이 처음 소개되었을 때는 그 적용분야가 생산분야에 국한되어 있었으나 점점 넓어져 최근에는 1) 생산을 포함한 운영(Operations), 2) 재무 및 측정(Finance

and Measures), 3) 프로젝트 관리, 4) 공급체인(Supply Chains), 5) 영업(Marketing), 6) 판매(Sales), 7) 인력관리(Managing People), 8) 전략 및 전술(Stratgy and Tactics) 등의 8개 분야에 적용되고 있다(Blackstone, 2001).

본 연구에서는 TOC의 가장 기본적인 적용분야인 생산시스템에 관심을 둔다. TOC가 생산시스템에 적용될 때 사용되는 기법인 DBR(drum-buffer-rope) 방식은 MRP나 JIT 같은 기존의 생산관리 시스템에 대한 대안으로 주목을 받고 있다. 1980년대 초에 OPT(optimized production technology) 소프트웨어를 통한 컨설팅으로 많은 기업에서 큰 성과를 거둔 Goldratt이 이 소프트웨어의 핵심원리를 경영기법으로 체계화한 것이 DBR로서, 이 방식은 제약자원을 찾아내어 최대한 효율적으로 활용하고 비 제약자원을 제약자원에 종속시켜 제약자원이 생산의 흐름을

* 연락처: 고시근 교수, 608-739 부산시 남구 용당동 산100 부경대학교 산업공학과, Fax: 051-620-1546, e-mail: sgkoh@pknu.ac.kr
2001년 12월 접수, 3회 수정 후 2002년 2월 게재 확정.

통제하도록 함으로써 개선의 효과를 극대화시켜 준다(최광식, 2001).

특히 시간 경쟁력이 기업의 주요 경쟁력 원천으로 자리잡은 현대의 생산 환경에서는 제조리드타임을 단축하는 것이 그 무엇보다 중요한 과제로 자리를 잡았다. 제조 리드타임을 줄이기 위해서는 무엇보다도 재공품 재고의 양을 줄여야 함은 주지의 사실이다. 따라서 많은 생산시스템들이 재고수준을 낮추기 원하고 또 실제로 그러기 위해 노력을 하고 있다. 그러나 생산현장의 모든 사람들이 추구하는 재고감축이라는 목표가 잘 실현되지 않고 있다는 사실에 주목할 필요가 있다. 그 원인은 겉으로는 재고감축을 원한다고 말하지만 실제로는 재고를 조장하는 여러 가지 상황에 있다고 할 수 있다. TOC에서는 우선 생산시스템에 대한 평가척도를 바꾸어야 한다고 말한다. 기존의 원가측정 방식으로는 재고의 절감을 달성할 수 없다는 것이다. 여기에 대한 상세한 설명은 정남기(1999)나 최광식(2001)의 저서에 서술되어 있다.

그 외에도 생산시스템 내부의 재고가 줄어들지 않는 원인은 관리방식에 있다. 즉, MRP와 같이 미리 작성된 계획에 따라 밀어붙이는(Push) 방식의 생산은 재고를 높일 수밖에 없음을 경험을 통해 알고 있다. 이러한 Push 방식의 관리시스템이 갖는 문제점을 극복하기 위해 일본에서 개발된 JIT 방식은 재고를 줄이는 데 탁월한 효과를 발휘하였다. 하지만 항상 공정들이 완벽한 상태를 유지하고 있어야 함을 기본조건으로 하는 JIT 방식은 그 경직성으로 인해 문제가 많이 발생하고 있다. 즉, JIT에서는 시스템 내의 모든 변동요인을 제거하여 생산흐름에 걸림돌이 전혀 없도록 노력하지만 모든 공정에서의 불확실성을 100% 완벽하게 제거하는 것은 무리라는 것이다. 그런 면에서 MRP의 특성과 JIT의 특성을 공유한 DBR이 각광을 받는 것이다. 또한 비계약자원에서의 불확실성은 어느 정도 인정하고 제약자원에만 관심을 기울여 관리하는 것이 현실성을 갖는다는 면에서도 그렇다.

MRP가 현장에서 크게 성공을 거두지 못한 데에는 능력(capacity)을 고려하지 않은 생산일정계획이라는 점과 밀어붙이기 방식의 근본적인 문제점 등이 원인으로 작용하였겠지만 정보시스템이 갖는 근본적인 문제점에도 그 원인이 있을 것이다. 즉, MRP는 컴퓨터를 이용한 정보시스템으로 운영되므로 데이터의 정확성이 올바른 의사결정의 필수 불가결한 조건이 된다. 즉, 시스템 내의 모든 변동사항들이 즉시 MRP 시스템에 입력되어 의사결정에 반영되어야 하는데 자동화된 입력장치를 사용하지 않는 경우라면 현실적으로 매우 어려운 일이다. 이와는 대조적으로 JIT 방식에서는 Kanban이라는 눈에 보이는 아주 간단한 도구를 사용하여 작업지시가 이루어진다. 따라서 현장의 작업자들이 데이터를 입력해야 하는 문제가 사라질 뿐 아니라 그 단순함으로 인해 현장 사용도가 높아진 것이다.

MRP가 정보시스템이라서 직면했던 문제점들은 그 정도의 차이는 있지만 DBR에서도 나타날 수 있을 것이다. 제약자원 버퍼에서 제약자원으로 한 물품이 투입되면 여기에 맞추어 원

자재가 투입되어야 하는 데, 이러한 정보전달을 위해 현재로는 정해진 방법은 없다. 하지만 DBR이 OPT에서 출발하였으므로 주로 소프트웨어를 사용하여 이러한 정보의 전달이 이루어지는 것이 당연하게 인식되어 있다. 정남기(1999)는 DBR의 구현을 위한 APS(Advanced Planning and Scheduling)의 유용성을 강조하였다. 하지만 여기서 MRP가 당연하였던 문제가 발생할 수 있다는 것이다. 물론 버퍼만 관리하면 되므로 MRP보다는 간단하겠지만 복잡한 시스템의 경우 버퍼의 개수도 상당히 많아질 수 있다. JIT 방식이 Kanban을 사용하여 MRP의 문제를 해결하였듯이, 본 연구에서는, DBR 방식에도 Kanban 시스템을 사용할 것을 제안한다.

물론 JIT 시스템에서와 마찬가지로 수요가 불규칙한 주문생산 방식의 생산시스템에서는 Kanban 방식을 사용하는 것이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 수요가 안정적인 제품을 생산하는 시스템에 대해서만 관심을 갖기로 한다. 이러한 시스템에서 Kanban 방식을 사용함으로써 데이터 처리시 발생할 수 있는 에러를 방지하고 현장 작업자들이 이해하기 쉽도록 운영방식을 단순화시키는 것이다.

2. 문헌 연구

Goldratt(1992)이 TOC의 보급을 위해 “더 골(The Goal)”을 비롯한 여러 권의 소설을 출간하면서 전세계적으로 수많은 저서, 연구논문, 그리고 적용사례들이 발표되고 있다. 우선 단행본으로는 국외의 경우 상당히 많은 저서들이 출간되어 있지만 국내에는 정남기(1999)와 최광식(2001) 정도이다.

TOC 관련 연구논문들은 주로 International Journal of Production Research 혹은 Production and Inventory Management Journal과 같은 저널에서 찾아볼 수 있다. TOC의 개념을 소개하기 위한 논문으로는, Blackstone(2001)이 최근에 TOC의 8개 적용분야에 대해 소개를 하였고 DeColvenaer *et al.*(1992)은 OPT/ TOC 개념의 적용에 대한 테스트 방법을 설명하였다. Spencer and Cox(1995)도 OPT와 TOC의 개념을 비교 분석하였고 Lockamy and Spencer(1998)는 TOC의 성과측정치들을 실제 생산환경에서 기존의 평가치들과 비교 분석하였다.

TOC의 개념을 설명하기 위해 Posnack(1994)는 TOC를 올바르게 적용하면 LP(선형계획법)보다 훌륭한 결과를 얻을 수 있다고 주장하였고 Luebbe and Finch(1992)도 LP가 단순한 최적화 도구인 데 반해 TOC는 여러 가지 기법을 사용하는 경영철학을 강조하였다. 이 연구결과에 대해 Balakrishnan and Cheng(2000)는 두 개의 개념을 단순비교하는 것보다 LP가 TOC 분석의 유용한 도구가 되어야 함을 강조하였다. Plenert(1993)는 제약자원이 여러 개 존재할 경우 TOC를 최적화하는 방안에 대해 연구하였다. 프로젝트 관리를 위한 TOC의 적용기법인 Critical Chain에 대해서는 Rand(2000)가 소개하고 있다.

TOC의 특징 및 장점을 강조하기 위해 다른 생산관리 방식

과 비교 설명한 연구들도 있다. Cook(1994)은 흐름생산 환경에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 TOC, JIT, 그리고 기존의 제조 환경을 비교하여 TOC의 우수성을 강조하였다. Miltenburg (1997)는 JIT, MRP, TOC 등을 비교한 후 MRP의 개념을 약간 변형하면 MRP 시스템 내에서도 JIT 및 TOC의 개념을 구현할 수 있음을 주장하였다. 그는 그 개념을 사용하여 미세전자제품공장에 TOC 개념을 도입한 MRP 시스템을 구현하고 그 효능을 강조하였다.

3절에서 소개할 TOC 구현의 5단계 중 제 2단계는 제약자원을 최대한도로 활용하는 방법을 찾는 것이다. 여기서는 시스템의 모든 의사결정을 제약자원의 활용에 초점을 맞추어 수행하는 데, 여기에 관련된 연구로는 제품조합(product mix)에 관련된 것들이 많다. 우선 Fredendall and Lea(1997)는 시스템의 쓰루풋을 최대화해주는 주일정계획을 작성하기 위해 개선된 제품조합 휴리스틱을 개발하였다. 그 외에도 Hsu and Chung(1998)과 Kee and Schmidt(2000) 등이 관련 연구를 수행하였으며 Onwubolu and Mutingi(2001)는 유전 알고리즘을 사용해 제품조합 문제를 해결하였다.

제약자원의 최대한 활용을 위해서는 최종제품의 주일정계획(MPS; Master Production Scheduling) 시에도 제약자원이 고려되어야 한다. Spencer and Cox(1995)는 MRP 환경과 TOC 환경에서의 MPS는 다른 관점에서 수행되어야 함을 강조하면서 TOC 환경에서의 MPS 생성방법을 제시하고 있다. 또한 Simons 등(2000)은 효과적인 일정계획을 통해 제약자원의 활용도를 높이고 노력하였다.

DBR의 개념 및 적용사례에 대한 연구도 많이 발표되었다. Schragenheim and Ronen(1990)과 Sivasubramanian *et al.*(2000)은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 DBR의 우수성을 실증적으로 강조하였다. 또한 Radovitsky(1998)는 버퍼의 크기에 대한 대기행렬(Queueing) 모형을 제시함으로써 DBR의 원리를 설명하였고 Russel and Fry(1997)는 DBR 시스템에서 주문처리 및 로트 분할의 효과를 시뮬레이션을 통해 제시하였다. 그리고 Chakravorty (1996)와 Wu *et al.*(1994)은 DBR의 실제 적용사례를 소개함으로써 그 우수성을 주장하고 있다.

SCM(Supply Chain Management) 분야에 대한 TOC의 응용을 연구한 결과도 있다. Perez(1997)는 공급사슬 내의 여러 가지 상이한 접속(link)들에 대해 TOC 기반의 운영정책이 어떻게 적용될 수 있는지를 설명한다. Green SCM, 즉 재활용 분야에 대한 TOC의 적용에 대해서 Guide(1996)와 Daniel *et al.*(1995)이 연구를 수행하기도 하였다.

품질개선 문제에 적용한 결과도 있다. Atwater and Chakravorty (1995)는 결과지향의 품질개선 프로그램을 달성하기 위해 TOC 개념을 이용하여야 함을 강조하고 실제로 품질이나 경제적인 개선효과를 거두기 위해 TOC가 어떻게 품질개선 프로그램에 적용되는지를 설명하였다(Chakravorty and Atwater, 1998). 또한 그들은 TOC 개념을 예방정비 프로그램에 적용한 새롭고 혁신적인 기법을 제안하기도 하였다(Chakravorty and Atwater, 1994).

기타 분야에 대한 적용으로는 Spencer(2000)의 연구가 있다. 이 연구에서는 실제 회사에 대한 적용사례를 사용해 서비스 산업에 대한 TOC의 적용방법을 설명하고 있다. Demmy and Demmy(1994)는 고등학교의 연감을 작성하는 데 TOC를 적용한 사례를 보여주고 있다.

3. TOC 5단계와 DBR 방식

TOC는 시스템의 제약에 관심을 집중하여, 조직의 목표에 부합되게 그 제약을 철저히 활용하고, 이 활용방법을 시스템의 나머지 부분에 적용해 나간다. 이러한 절차는 다음과 같은 5단계로 표현된다.

- 단계 1. 시스템의 제약자원을 찾아낸다.(Identify the constraint(s).)
- 단계 2. 어떤 방법으로 제약자원을 최대한도로 활용할 것인지 결정한다. (Decide how to Exploit the constraint(s).)
- 단계 3. 그 외의 모든 의사결정은 단계 2의 결정에 종속시킨다(Subordinate everything else to the decision taken in step 2.).
- 단계 4. 제약자원의 능력을 향상시킨다.(Elevate the constraint(s).)
- 단계 5. 위 단계들의 적용으로 제약자원이 사라졌다면 단계 1로 돌아간다. 이때 타성으로 인해 제약자원이 생기지 않도록 한다(If, in any of the above steps, a constraint is broken, go to step 1. Do not let Inertia cause the next constraint.).

Schragenheim and Ronen(1990)은 TOC의 이러한 개념을 사용해 DBR을 적용하기 위한 3개의 단계를 제시하고 이 3개의 단계들이 매 생산계획시 반복되어야 함을 강조하였다.

- 단계 (a) 제약자원의 능력이 충분히 활용되는 일정계획을 작성한다.
- 단계 (b) 버퍼의 크기를 결정한다.
- 단계 (c) 위의 두 단계에 따른 원자재 투입계획을 작성한다.

필요한 경우 제약자원을 규명하는 절차가 필요하겠지만 통상적인 DBR 프로세스는 위의 3개 단계를 따르게 된다. 그런데 단계(c)에서 원자재 투입계획이 작성되어 그 결과가 현장에서 실행될 때, 수요가 불규칙적인 주문생산의 경우라면 정보시스템을 사용하는 것이 타당하겠지만, 안정적인 수요를 갖는 제품이라면 Kanban 방식을 응용함으로써 데이터 처리시 발생할 수 있는 에러를 방지하고 현장 작업자들이 이해하기 쉽도록 운영방식을 단순화 하고자 하는 것이다.

DBR을 운영하기 위해서는 세 가지 종류의 버퍼가 필요하다. 이 개념을 설명하기 위해 <그림 1>과 같은 생산시스템을 예로 든다. 이 그림은 한 가지 제품을 생산하기 위한 공정흐름을 표현하고 있는데, 그림에서 원으로 표시된 것은 공정으로서 제약공정을 포함해 총 12개의 공정이 사용된다. 또한 역삼각형은 버퍼를, 화살표는 물자의 흐름을 나타내고 있다. 그림에서

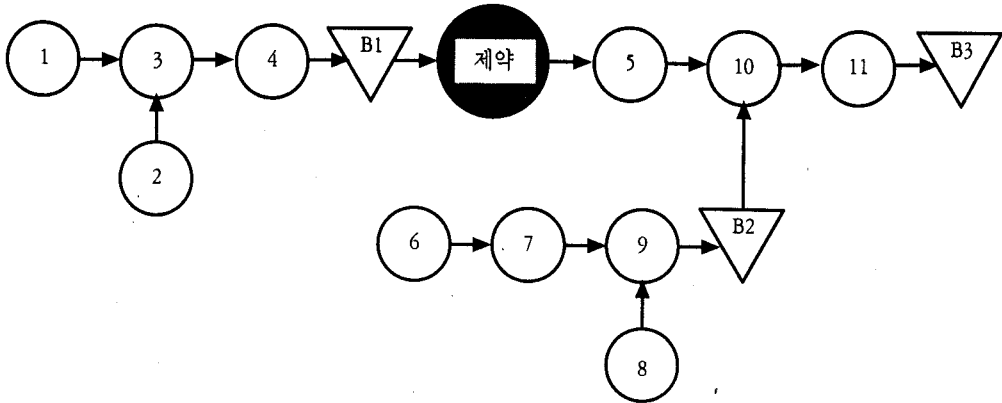


그림 1. 제약자원을 사용하는 제품에 대한 세 가지 종류의 버퍼.

볼 수 있듯이 이 시스템에는 세 가지 종류의 버퍼가 나타나 있다. 제약공정 앞에 위치한 버퍼 B1이 '제약자원버퍼'로서 제약 자원의 연속적인 가동을 위해 공정 1, 2, 3, 4에서 발생할 수 있는 불확실성에 대비한다. '조립버퍼' B2는 제약자원을 거친 부품들이 공정 10에서 비제약 부품과 조립될 때의 지연을 방지하기 위해 설치된다. 즉, 이 버퍼는 공정 6, 7, 8, 9에서의 불확실성에 대비한다. 마지막으로 출하버퍼 B3는 제품의 납기를 보호하기 위해 설치되어 공정 5, 10, 11에서의 불확실성에 대비한다.

그런데 일반적으로 한 생산시스템에서 생산되는 제품들이 모두 제약자원을 사용하는 것은 아니다. 즉, <그림 2>와 같은 공정흐름을 갖는 제품처럼 제약자원을 사용하지 않는 제품도 있을 수 있다는 것이다. 이 그림에서의 제품도 총 12개의 공정을 거쳐 생산되나 제약자원을 거치지 않는다. 이렇게 제약자원을 거치지 않는 제품의 경우에는 출하버퍼(B4) 하나만 있으면 되는데 또한 이것은 시장수요가 제약이 되는 경우이므로 출하버퍼가 제약자원버퍼의 역할도 동시에 수행한다고 볼 수도 있겠다.

4. Kanban을 사용한 DBR 구현

4.1 Kanban 사용법

이제 위와 같은 생산시스템들에 대해 Kanban을 사용한 Rope

시스템을 구현하기로 한다. 우선 제약자원을 거치는 제품에 대해서는 <그림 3>과 같이 각 버퍼에 따라 3 종류의 Kanban이 필요하다. 첫째, 출하버퍼와 제약자원을 연결해 주는 출하 Kanban(이 그림에서는 K3)이 필요하다. 이 Kanban은 제약자원에 해당 부품이 투입될 때 pallet(혹은 container)에 부착되어 출하버퍼까지 그 부품을 따라온다. 출하버퍼에 있던 완제품이 출하되면 pallet에서 떨어져 출하버퍼 옆에 위치한 Kanban 보관함에 보관된다. 적당한 시점에 이 Kanban들은 다시 제약자원 옆에 위치한 Kanban 보관함으로 옮겨져 제약자원에 대한 작업 지시 역할을 수행하게 된다. 물론 수요가 제약자원의 능력보다 크다면 제약자원 옆에는 항상 대기중인 Kanban들이 있을 것이다.

제약자원버퍼나 조립버퍼는 Kanban 운영방식에 있어서 비슷한 형태를 보여준다. 각 버퍼에 들어오는 부품이 몇 가지 종류의 원자재를 사용하느냐에 따라 Kanban의 종류도 정해지게 된다. 우선 제약자원버퍼 B1에서는 두 가지 종류의 Kanban(K1과 K2)이 사용되어야 한다. B1에서 대기중이던 부품이 제약자원에 투입되면 그 부품의 pallet에 부착되어 있던 Kanban들(K1과 K2)을 떼내어 Kanban 보관함에 저장한다. 적정 시점에 각 Kanban은 해당 원자재 투입공정으로 이동한다. 즉, K1은 공정 1로 운반되고 K2는 공정 2로 운반되어 각각의 지정된 Kanban 보관함에 보관된다. 출하 Kanban과 마찬가지로 이 Kanban들은 각 원자재의 투입을 지시하는 역할을 수행한다.

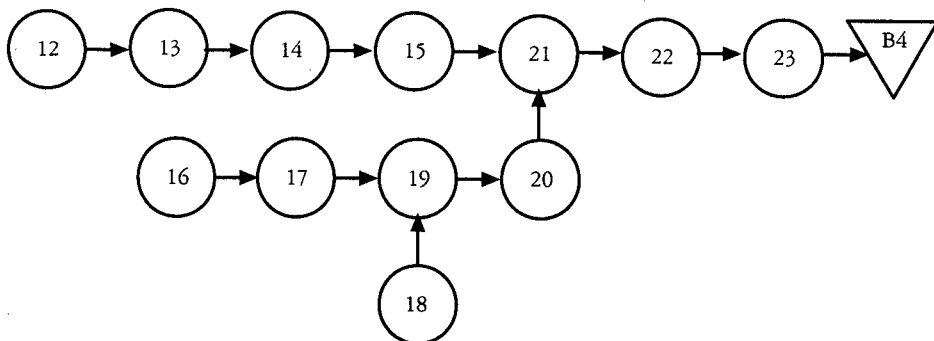


그림 2. 제약자원을 거치지 않는 제품에 대한 버퍼.

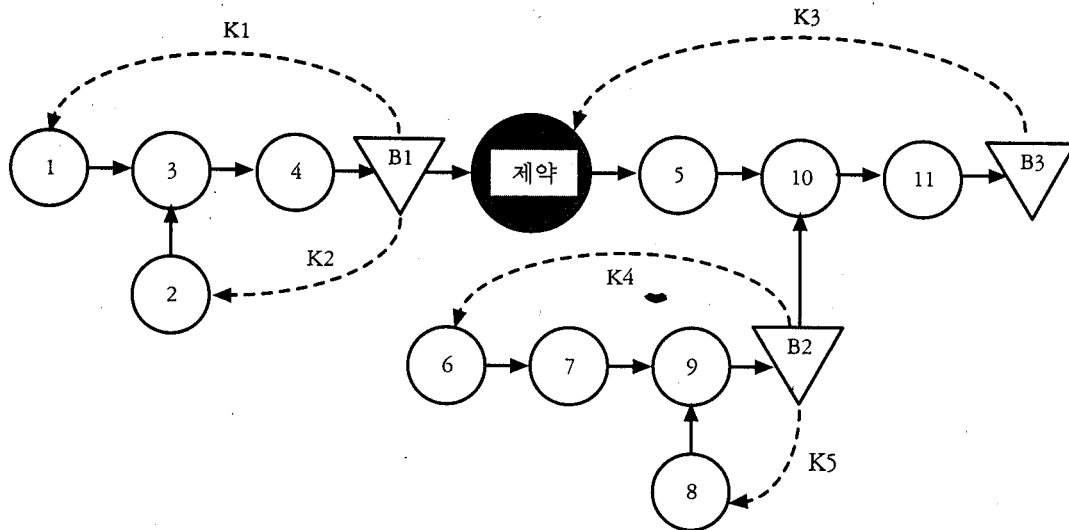


그림 3. 제약자원을 사용하는 제품의 Kanban 순환.

조립버퍼(K4와 K5)도 사용방식은 제약자원 Kanban과 일치한다.

<그림 4>와 같이 제약자원을 사용하지 않는 제품에 있어서도 Kanban 사용의 원칙은 대동소이하다. 가장 큰 차이점은 제약자원이 없으므로 버퍼의 종류가 한 가지 밖에 없어 Kanban의 종류도 줄어든다는 것이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 Kanban의 종류는 사용되는 원자재의 종류와 일치한다. 출하버퍼에서 대기중이던 제품이 시스템 외부로 출하되면 그 제품의 pallet에 부착되어 있던 Kanban들(K6, K7, K8)을 떼내어 Kanban 보관함에 저장한다. 적정 시점에 각 Kanban은 해당 원자재 투입공정으로 이동한다. 즉, K6은 공정 12로, K7은 공정 18로, K8은 공정 16로 운반되어 각각의 지정된 Kanban 보관함에 보관되었다가 해당 원자재가 투입되면 그 pallet에 부착되어 함께 이동한다.

이렇게 DBR에 있어 정보교환 수단인 Rope의 역할을 JIT에서

그 효능이 입증된 Kanban이 수행하는 것이다. 그 결과 재고에 대한 눈에 보이는 관리가 가능해진다. 서류나 정보시스템을 통한 작업지시보다는 Kanban과 같이 단순하면서도 확실한 수단을 사용한 작업지시가 효과가 있음은 JIT에서 증명된 바가 있다. 하지만 물론 전술한 바와 같이 수요가 매우 불규칙한 주문생산시스템의 경우에는 적용하는 데 무리가 따를 것이다. 또한 하나의 Kanban이 여러 공정을 거쳐야 하므로 한 장의 Kanban에 비교적 많은 정보를 담아야 하는 것도 문제점으로 지적될 수 있겠다. 일반적으로 Kanban에는 제품관련 정보, 운반관련 정보, Kanban 운영정보 등의 세 가지 정보가 기록되어 있어야 한다. 그런데 본 연구에서 제시하는 Kanban은 여러 공정에 걸쳐 사용되므로, 거치는 모든 공정에 대한 정보를 담고 있어야 한다. 따라서 생산되는 제품의 공정에 따라 그 형태가 매우 다양하게 나타난다. Kanban이 담고 있어야 할 정보의 구

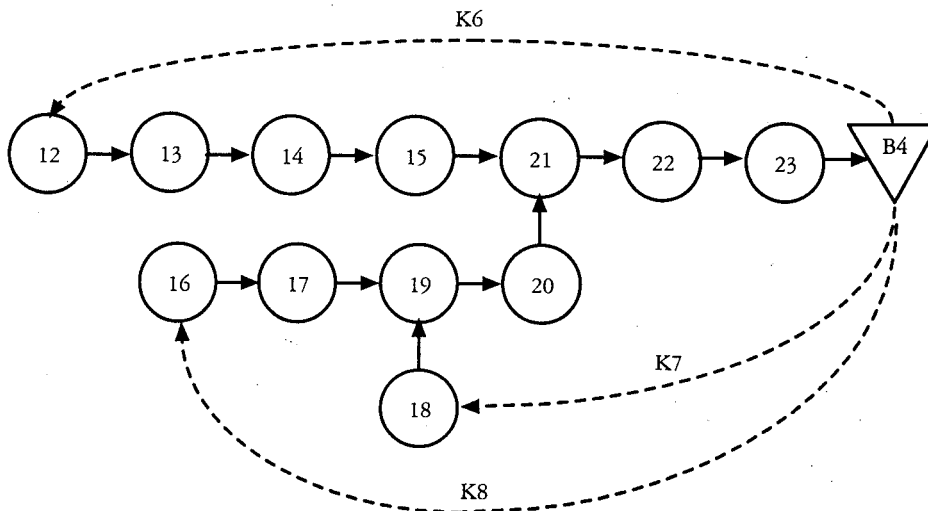


그림 4. 제약자원을 거치지 않는 제품의 Kanban 순환.

체적인 예는 4.3절에서 들기로 한다.

4.2 Kanban 매수 결정

Moden(1983)은 Kanban 매수를 결정하는 수식을 다음과 같이 제시하였다.

$$\text{Kanban 매수} = \frac{\text{단위시간당 수요} \times \text{Kanban 순환주기}}{\text{Pallet 크기}}$$

본 연구에서도 이 식을 사용할 수 있겠지만 문제는 Kanban 순환주기의 결정이다. JIT에서는 모든 공정에 대해 독립적으로 Kanban 순환주기를 계산을 해야 하므로 각 공정이 여러 부품을 생산하는 경우 셋업시간도 고려해야 하는 등 계산이 약간 복잡해질 수 있다. 그러나 DBR에서는 순수 생산시간 이외의 모든 시간을 여유시간으로 시간버퍼에 할당해버리므로 Kanban 순환주기를 그 Kanban을 사용하는 공정들의 처리시간과 해당 버퍼에 할당된 여유시간, 그리고 Kanban 수집시간을 합한 시간으로 하면 될 것이다. 여기서 Kanban 수집시간이라는 것은 Pallet으로부터 떼내어진 Kanban이 보관함에 보관되는 시간을 의미한다.

예를 들어 <그림 3>에서 K1의 매수를 결정하기 위해서는 B1에 보관된 부품의 단위시간당 수요량, 공정 1, 3, 4의 처리시간, B1에 할당된 여유시간, K1의 수집시간, 그리고 Pallet 하나에 적재되는 부품의 개수를 이용해 Kanban 매수를 결정할 수 있는 것이다.

4.3 예 제

버퍼의 종류에 따라 Kanban 사용방식에 큰 차이가 없으므로 <그림 3>에서 버퍼 B2와 관련된 부분만을 분리하여 예를 들어본다. 개념을 간단히 설명하기 위해 가능하면 간단한 상황을 가정한다. 우선 통계적 변동과 셋업시간은 무시한다. 각 공정에서의 처리시간은 공정 6은 개당 10분, 공정 7은 개당 15분,

공정 8은 개당 10분, 그리고 공정 9는 개당 12분이라고 하자. 버퍼 B2로부터 조립공정 10에 투입되는 시간간격은 18분이다. 공정 9에서 만나는 부품의 조립비율은 1대 2이다. 즉, 공정 6과 7을 거쳐온 부품 1개와 공정 8을 거쳐온 부품 2개가 결합되어 새로운 부품 1개가 만들어진다. 각 공정에서 생산과 운반은 박스 단위로 이루어지는데 공정 9 이전에는 1박스에 10개의 부품을, 그리고 공정 9와 버퍼에서는 1박스에 5개의 부품을 담는다고 가정한다.

버퍼 B2에서는 매 90분마다 박스 하나가 비워질 것이다. 이 박스에는 Kanban K4와 K5가 각각 1장씩 부착되어 있었다. Kanban 수집시간이 따로 없이 한 박스가 사용되는 즉시 K4와 K5를 각각 공정 6과 공정 8로 보낸다고 가정하자. 그러면 공정 8의 경우는 바로 작업착수가 가능하다. 왜냐하면 공정 9 이후의 부품 5개가 공정 8에서는 10개의 부품에 해당되어 1박스에 K5를 부착하여 즉시 작업에 착수할 수 있는 것이다. 그러나 공정 6의 부품수와 버퍼의 부품 수는 일대일 관계이므로 K4 한 장으로는 작업을 착수할 수 없다. 다시 말해 공정 6에서는 K4 2장을 한 박스에 부착하여 작업하여야 한다는 것이다. 따라서 K4 2장이 한 박스에 부착되어 공정 9에 도착하면 반 박스(즉, 5개)의 부품과 K4 한 장이 공정 8에서 온 한 박스(즉, 10개)의 부품 및 K5 한 장과 결합하여 하나의 생산 및 운송단위를 형성하는 것이다.

여기서 Kanban에 실제로 기록되어야 할 정보에 대한 예를 들어보자. 우선 공정 6에 투입되는 원자재를 R6, 공정 8에 투입된 원자재를 R8이라고 하고, 공정 6, 7, 8, 9에서 만들어진 부품은 각각 P6, P7, P8, P9 이라고 하자. Kanban에는 제품관련 정보, 운반관련 정보, Kanban 운영정보 등이 기록되어 있어야 한다고 하였다. 따라서 가장 기본적인 기록내용으로는 이 Kanban과 관련된 완제품명, 이 Kanban의 최초 및 최종 단계 부품명(K4의 경우 R6 및 P9), 거치는 공정에서의 작업방법 및 운송관련 정보 등이 있다. K4는 <그림 5>에서 그리고 K5는 <그림 6>에서 요약하였다.

완제품명(주문번호) : <그림 3>의 완제품 최초 부품: R6 최종 부품: P9					
순서	공정	생산로트크기 (Kanban 매수)	작업내용		
		박스 종류	박스당 부품수	Kanban당 부품수	운송로트크기 (Kanban 매수)
1	6	2	원자재 R6를 가공하여 부품 P6 생산		
		—	10	5	2
2	7	2	부품 P6를 가공하여 부품 P7 생산		
		—	10	5	2
3	9	1	부품 P7 1개와 부품 P8 2개를 조립하여 부품 P9 생산		
		—	5	5	1

그림 5. Kanban K4의 형태.

완제품명(주문번호) : <그림 3>의 완제품 최초 부품: R8 최종 부품: P2					
순서	공정	생산로트크기 (Kanban 매수)	작업내용		
		박스 종류	박스당 부품수	Kanban당 부품수	운송로트크기 (Kanban 매수)
1	8	1	원자재 R8를 가공하여 부품 P8 생산		
		-	10	10	1
2	9	1	부품 P7 1개와 부품 P8 2개를 조립하여 부품 P9 생산		
		-	5	5	1

그림 6. Kanban K5의 형태.

<그림 5>와 <그림 6>에 제시된 Kanban의 예를 보면 가장 상위에는 본 Kanban과 관계된 완제품명, 이 Kanban이 사용되는 범위를 볼 수 있다. 그 아래로는 해당 Kanban이 거치는 공정들을 대상으로 각종 정보를 표시하고 있다. K4의 첫 번째 공정을 예로 들면 우선 이 공정에서의 생산로트크기를 Kanban 매수로 표시하고 있다. 즉, K4 두 장이 접수되면 생산에 착수하는 것이다. 다음은 작업내용을 간략히 설명한다. 이 예에서는 비어 있지만 생산된 부품 P6를 어떤 용기에 담을 것인지 박스 종류를 명시하게 되어 있다. 상황에 따라서 계속 같은 용기를 사용하거나 공정별로 다른 용기를 사용할 수도 있을 것이다. 다음에 표시되는 정보는 하나의 용기에 부품을 몇 개 담을 것인지를 명시하는 데 부품 P6의 경우는 10개를 담는다고 하였다. 또한 Kanban당 부품수가 명시되어 박스당 부품수와 관계를 고려하면 한 용기에 몇 장의 Kanban이 부착되어야 하는지 쉽게 알 수 있다. 즉, 이 예에서는 Kanban당 부품수가 5개이므로 하나의 용기에 2장의 Kanban이 부착된다. 마지막으로 운송로트의 크기를 기록한다. 이 예에서는 운송로트가 생산로트크기와 같은 Kanban 2매이므로 한번에 박스 한 개씩 뒤 공정(공정 7)으로 운송하게 되어 있지만 운송로트의 크기를 생산로트크기보다 작게 하는 것도 가능할 것이다. 다른 공정의 경우에도 같은 방식으로 기록하면 Kanban의 운영에 어려움이 없을 것으로 생각된다. 물론 제시된 정보 이외에도 상황에 따라 필요한 정보를 추가하는 것은 별 문제가 없을 것이다.

이번에는 같은 상황에서 Kanban의 매수를 계산해본다. 우선 K4의 경우, 공정 6과 공정 7에서는 한 박스에 2장이 부착되므로 이 두 공정에서 K4가 머무는 시간은 250분이 된다. 공정 9에서는 5개씩 생산되므로 60분이 소요된다. 따라서 여유시간을 전혀 고려하지 않았을 때의 K4 매수는, 시간당 수요 3.3개를 총 소요시간 5.17시간과 곱하여 Kanban 1매당 부품수 5개로 나누면, 3.4가 되어 4매의 K4가 필요해진다.

또한 K5가 한 사이클 순회하는 시간은 공정 8에서 부품 10개가 생산되는 시간 100분과 이 10개가 공정 9에서 5개의 중간조립품 5개로 조립되는 시간 60분의 합인 160분이다. 그런데 이 부품은 버퍼 B2의 중간조립품 1개당 2개가 소요되므로 시간당 수요가 6.7개이다. 따라서 K5는 2.67시간과 6.7개의 곱을

Kanban 1매당 부품수 10개로 나누어 2매가 필요하다는 결론을 얻을 수 있다.

물론 위의 절차에서는 여유시간을 고려하지 않았기 때문에 계산결과로 얻어진 Kanban 매수보다는 더 많은 Kanban이 필요할 것이다. 따라서 처음에는 이 계산결과보다 충분히 큰 값을 사용하여 시스템을 운영하다가 버퍼에 항상 많은 수의 Kanban이 머물고 있다면 점차적으로 Kanban의 수를 줄여나가야 한다. 또한 이것이 TOC의 개념과도 일치하는 절차일 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 생산시스템에 TOC 개념을 적용하는 가장 중요한 기법인 DBR 방식을 간단히 설명하고 이 방법을 실제로 적용할 때 문제가 될 수 있는 점을 지적하였다. 그리고 그에 대한 대안으로 JIT 방식에서 성공적으로 사용되었던 Kanban을 제시하였다. 물론 수요가 매우 불규칙한 주문형 생산시스템에는 적용이 어렵고 수요가 안정된 시스템에서만 사용이 가능해 보이지만 상당한 효과가 기대된다. 이 방법을 설명하기 위해 일반적인 형태의 예들을 제시하였다. 또한 JIT에서 Kanban 매수를 결정하는 데 사용된 식을 응용하여 여유시간(혹은 time buffer)을 고려한 Kanban 매수 결정식도 제시하고 가상의 예를 통해 현장 적용가능성을 제시하였다.

앞으로의 연구과제로는 주문형 생산시스템에서도 쉽게 사용할 수 있는 정보전달수단에 대한 연구를 들 수 있겠다. 또한 이러한 시스템을 국내의 현장에 도입하고 그 결과를 실증적으로 분석한 연구를 수행하여야 하겠다.

참고문헌

Atwater, J. B. and Chakravorty, S. S. (1995), Using the theory of constraints to guide the implementation of quality improvement projects in manufacturing operations, *International Journal of Production Research*, 33(6), 1737-1760.
 Balakrishnan, J. and Cheng, C. H. (2000), Theory of constraints and linear programming: a re-examination, *International Journal of Production Research*,

- 38(6), 1459-1463.
- Blackstone, J. H. Jr. (2001), Theory of constraints - a status report, *International Journal of Production Research*, 39(6), 1053-1080.
- Chakravorty, S. S. (1996), Robert Bowden Inc.: a case study of cellular manufacturing and drum-buffer-rope implementation, *Production and Inventory Management Journal*, 37(3), 15-19.
- Chakravorty, S. S. and Arwater, J. B. (1998), Implementing quality improvement programs using the focusing steps of the theory of constraints, *International Journal of Technology Management*, 16(4/5/6), 544-555.
- Chakravorty, S. S. and Arwater, J. B. (1994), How theory of constraints can be used to direct preventive maintenance, *Industrial Management*, 36(6), 10-13.
- Choi, K. S. (2001), *Password for Company Resurrection - TOC*, Haneon, Seoul, Korea.
- Cook, D. P. (1994), Simulation comparison of traditional, JIT, and TOC manufacturing systems in a flow shop with bottlenecks, *Production and Inventory Management Journal*, 35(1), 73-78.
- Daniel, V., Guide, V.D.R. Jr. and Ghiselli, G. A. (1995), Implementation of drum-buffer-rope at a military rework depot engine works, *Production and Inventory Management Journal*, 36(3), 79-83.
- DeColvenaer, D., Maes, J. and Gelders, L. (1992), Application of TOC/OPT rules in a medium sized shop, *Production Planning and Control*, 3(4), 413-421.
- Demmy, W.S. and Demmy, B. S. (1994), Drum-buffer-rope scheduling and pictures for the yearbook, *Production and Inventory Management Journal*, 35(3), 45-47.
- Fredendall, L. D. and Lea, B. R. (1997), Improving the product mix heuristic in the theory of constraints, *International Journal of Production Research*, 35(6), 1535-1544.
- Goldratt, E. M. and Cox, J. (김일운, 장만익, 최광식 공역) (1992), *The Goal*, North River Press.
- Guide, V. D. R., Jr. (1996), Scheduling using drum-buffer-rope in a remanufacturing environment, *International Journal of Production Research*, 34(4), 1081-1091.
- Hsu, T. C. and Chung, S. H. (1998), The TOC-based algorithm for solving product mix problems, *Production Planning and Control*, 9(1), 36-46.
- Jeong, N. K. (1999), *TOC - Constraint Management*, Daechong Media, Seoul, Korea.
- Kee, R. and Schmidt, C. (2000), A comparative analysis of utilizing activity-based costing and the theory of constraints for making product-mix decisions, *International Journal of Production Economics*, 63(1), 1-17.
- Lockamy, A. III and Spencer, M. S. (1998), Performance measurement in a theory of constraints environment, *International Journal of Production Research*, 36(8), 2045-2060.
- Luebbe, R. and Finch, B. (1992), Theory of constraints and linear programming: a comparison, *International Journal of Production Research*, 30(6), 1471-1478.
- Moden, Y. (1983), *Toyota Production System*, Industrial Engineering and Management Press.
- Miltenburg, J. (1997), Comparing JIT, MRP and TOC, and embedding TOC into MRP, *International Journal of Production Research*, 35(4), 1147-1169.
- Onwubolu, G. C. and Mutingi, M. (2001), A genetic algorithm approach to the theory of constraints product mix problems, *Production Planning and Control*, 12(1), 21-27.
- Perez, J. L. (1997), TOC for world class global supply chain management, *Computers and Industrial Engineering*, 33(1-2), 289-293.
- Plener, G. (1993), Optimizing theory of constraints when multiple constrained resource exist, *European Journal of Operational Research*, 70(1), 126-133.
- Posnack, A. J. (1994), Theory of constraints: improper applications yields improper conclusions, *Production and Inventory Management Journal*, 35(1), 85-86.
- Radovilsky, Z. D. (1998), A quantitative approach to estimate the size of the time buffer in the theory of constraints, *International Journal of Production Economics*, 55(2), 113-119.
- Rand, G. K. (2000), Critical chain: the theory of constraints applied to project management, *International Journal of Project Management*, 18(3), 173-177.
- Russel, G. R. and Fry, T. D. (1997), Order review/release and lot splitting in drum-buffer-rope, *International Journal of Production Research*, 35(3), 827-845.
- Schragenheim, E. and Ronen, B. (1990), Drum-buffer-rope shop floor control, *Production and Inventory Management Journal*, 31(3), 18-22.
- Simons, J. V., Jr., Simpson, W.P., III, Caelson, B.J., James, S.W., Lettiere, C.A. and Mediate, B.A., Jr. (1996), Formulation and Solution of the drum-buffer-rope constraint scheduling problem (DBRCSP), *International Journal of Production Research*, 34(9), 2405-2420.
- Sivasubramanian, R., Selladurai, V. and Rajamramasamy, N. (2000), The effect of the drum-buffer-rope (DBR) approach on the performance of a synchronous manufacturing system (SMS), *Production Planning and Control*, 11(8), 820-824.
- Spencer, M. S. (2000), Theory of constraints in a service application: the Swine Graphics case, *International Journal of Production Research*, 38(5), 1101-1108.
- Spencer, M. S. and Cox, J. F. (1995), Master production scheduling development in a theory of constraints environment, *Production and Inventory Management Journal*, 36(1), 8-14.
- Spencer, M. S. and Cox, J. F. (1995), Optimum production technology (OPT) and the theory of constraints (TOC): analysis and genealogy, *International Journal of Production Research*, 33(6), 1495-1504.
- Wu, S. Y., Morris, J.S. and Gordon, T. M. (1994), Simulation analysis of the effectiveness of Drum-Buffer-Rope scheduling in furniture manufacturing, *Computers and Industrial Engineering*, 26(4), 757-764.



고시근

고려대학교 산업공학과 학사

KAIST 산업공학과 석사

KAIST 산업공학과 박사

현재: 부경대학교 산업공학과 부교수

관심분야: 생산/물류관리, APS, TOC



김재환

고려대학교 산업공학과 학사

KAIST 산업공학과 석사

KAIST 산업공학과 박사

Univ. of Illinois 교환교수

현재: 한국해양대학교 응용과학부 수리정보

전공 부교수

관심분야: 최적화 및 컴퓨터 알고리즘