

시물레이션을 이용한 S단추공장생산시스템 분석 및 연구

전근수 · 장병윤*

A simulation study on S-Button factory production system

GenShou Quan · Byeong-Yun Chang*

ABSTRACT

Improving the time and cost efficiency of production systems is one of the important means of building competitive advantage and staying profitable in the ever increasing competitive business environment. Among others, CONWIP (constant work-in-process) and DBR (drum-buffer-rope) methods are widely used in improving production process efficiency. In this study, we have developed simulation models for a real button factory production system. We have tried to improve the efficiency of the production process by implementing these two approaches to our model. According to our results, both CONWIP and DBR production approaches were found to have equivalently better results in reducing the waiting time of the bottleneck process. By applying either of the two production systems, efficiency of the real production process can be significantly improved as the simulated model results demonstrate.

Key words : Production System, Competitive Advantage, CONWIP, DBR, Push/Pull

요약

생산시스템의 시간과 비용 효율성을 개선하는 것은 경쟁 우위를 구축하고 경쟁적인 비즈니스 환경에서 수익성을 향상하는 중요한 수단 중 하나이다. 그 중에서도 CONWIP(constant work-in-process)과 DBR(drum-buffer-rope)방법은 생산 공정의 효율을 개선하는 데 널리 사용된다. 이 연구에서는 실제 단추 공장 생산 시스템의 시물레이션 모델을 개발했다. 연구 결과에 의하면, CONWIP과 DBR 생산시스템 모두 병목 공정의 대기 시간을 감소시키는 등 실제 생산시스템보다 나은 결과를 나타냈다. 시물레이션 모델 결과를 바탕으로 제안된 생산시스템을 적용함으로써, 실제의 제조 공정의 효율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 생산시스템, 경쟁우위, CONWIP, DBR, Push/Pull

1. 서론

현재 생산 공정에서의 생산시스템의 경우 대부분은 여러 가지 단계를 거쳐서 완제품을 생산하게 된다. 그러나 현재의 소비자들은 일반적으로 리드 타임(lead time)이 짧고 가격이 낮으며, 품질이 좋은 다양한 제품들을 원한다.

이러한 환경 속에서 기업은 내부적으로는 제품 생산을 최대화하고, 재고수준을 최소화 하면서도, 재고유지비용과 불필요하게 발생하는 비용들을 절감할 수 있어야 하며 외부적으로는 시장 점유율의 극대화 및 기업 이미지 강화에 경영전략의 초점을 맞추어야 한다. 생산측면에서 여러 가지 문제점들을 해결하는 수단 가운데 재고량을 최소화하는 것은 기업 경쟁력향상을 위한 핵심연구이다.

생산시스템 내 밀기(push) 방식은 생산통제가 공정의 흐름을 따라 전달되므로 다음 공정의 생산 환경이나 완제품의 수요환경이 급변할 경우, 리드타임이나 재공품(work-in-process: WIP)을 포함한 재고량이 통제할 수 없이 증가하는 현상을 보일 수 있다(Lee and Seo, 2012). 이에

Received: 29 August 2014, **Revised:** 2 December 2014,
Accepted: 22 December 2014

*Corresponding Author: Byeong-Yun Chang
E-mail: bychang@ajou.ac.kr
School of Business, Ajou University

비해 간반(kanban) 같은 순수 끌기(pull) 방식의 시스템은 후속 공정의 간반에 의해 재고량이 결정되므로 WIP이 많지 않다는 장점이 있다(Lee and Seo, 2012).

기존 생산시스템에 대한 연구에서 Cook(1994), Gilland(2002), Koh와 Bulfin(2004)는 DBR(drum-buffer-rop) 생산시스템이 동일한 생산율에서 크기가 감소하고, 다른 시스템들 보다 우수하다는 결과를 보였지만 Jodlbauer와 Huber(2008)에서는 생산시스템이 서비스 수준(service level)과 기계고장, 셋업타임, 수요변동성 등 생산환경 변화에 따른 생산시스템의 견고성(robustness) 면에서는 CONWIP(constant work-in-process)이 더 우수하다는 결과를 보였다.

본 연구에서는 중소기업체인 단추 공장에서의 문제점들을 해결하기 위하여 새로운 두 가지 시스템(CONWIP, DBR)과 실제 생산시스템을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 모델링하여 비교하고 병목공정에서의 대기시간과 재고수준이 우수한 시스템을 추천한다.

본 논문에서 사용하는 시뮬레이션 툴은 Rockwell사의 Arena(Kelton, et. al, 2010)를 사용한다.

다음은 본 논문의 순서이다. 제 1 장에서는 연구배경 및 연구방법 등을 제시하고, 제 2 장에서는 실제 공장견학 및 자료조사를 기반으로 하여 실제 생산시스템의 흐름도 등 시뮬레이션 모델을 구축한다. 다음 제 3 장에서는 새로운 생산방식의 이론들을 고찰하고 두 가지 생산방식의 흐름을 분석한다. 제 4 장에서는 실제 생산시스템의 결과들과 새로운 생산시스템을 비교 분석하여 기존의 실제 생산 시스템의 문제점 및 개선하여야 부분들을 설명한다. 그리고 제 5 장에서는 결론과 향후의 연구방향등을 제시하였다.

2. S단추 공장

2.1 공장배경

이 단추공장은 남양주에 위치하였으며 1986년에 설립되어, 1998년에 IMF때 부도가 생겼지만 1999년에 재기하여 현재까지 운영하고 있으며 연 소득 6억 원이 되는 단추 공장이다. 주로 한국군인들 군복을 만드는 공장에 납품하며 주문량은 100만개 단위이다. 군인들 외에 다른 주문들은 10만개 단위이며 수주가 발생하여야만 생산이 진행되는 전형적인 프로젝트 산업 형태이다.

공장에서 주로 사용하는 원재료는 알루미늄, 신주, 철 등이 있으며 이런 원재료들을 사용하여 단추들을 생산하고 있다. 각 원재료를 구매 할 때 알루미늄과 신주는 5톤

씩 구매하며 알루미늄은 1Kg당 3,900원씩 구매하며 500만개의 완제품을 생산 할 수 있고 신주는 1Kg당 8,180원이 들며 200만개의 완제품을 생산 할 수 있다. 철은 3톤을 구매하며 1Kg당 1,700원이며 150만개의 완제품을 생산 할 수 있다. 단추의 종류도 군부대에서 사용하는 단추, 경찰들 제복의 단추 등 여러 가지가 있다. S단추 공장의 생산시스템은 단추의 크기나 원재료의 종류에 상관없이 공정 시간은 같다.

2.2 공장 생산시스템

공장의 단추 생산 라인은 다음 Fig. 1과 같이 원재료가 들어와서 단추의 앞면, 뒷면 가공이 동시에 진행되고 일정한 양이 저장되면 조립공정으로 이동하고 조립공정에서 조립하고 출하하는 생산 시스템이다.

다음 Table 1에서처럼 각 공정의 평균처리시간(mean processing time: MPT)은 앞판 공정은 단추재료 1개를 가공하는데 0.5초이고 뒷판 공정은 1개를 가공하는데 0.34초이며 조립 공정은 단추 1개를 만드는데 0.67초이다. 그러므로 조립공정은 전체 공정에서 Bottleneck 공정이라고 할 수 있다. 그리고 앞면 공정, 뒷면 공정 모두 평균적으로 5,000번째의 자재가 들어오면 불량품이 발생한다. 기계의 고장 평균 수리시간(mean time to repair: MTTR)과 조립공정까지의 평균 이동시간(mean transfer time: MTT)은 각 평균 60초씩이다. 생산 도중 기계의 고장이 발생하면 기계 수리 후 공정을 계속 진행한다.

또한 단추공장에서 각 단추 별 크기에 상관없이 가공 시간은 동일하며, FIFO(First in-First out) 방식으로 생산

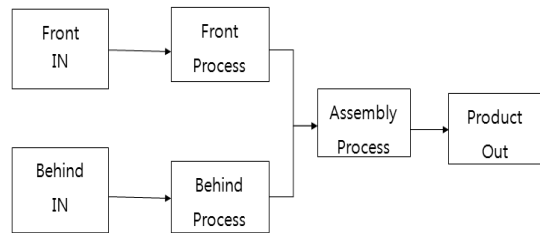


Fig. 1. Button factory process

Table 1. Machine's MPT, MTTR and MTT (unit:sec.)

Machine	MPT	MTTR	MTT
Front Process	0.5	60	60
Behind Process	0.34	60	60
Assembly Process	0.67		

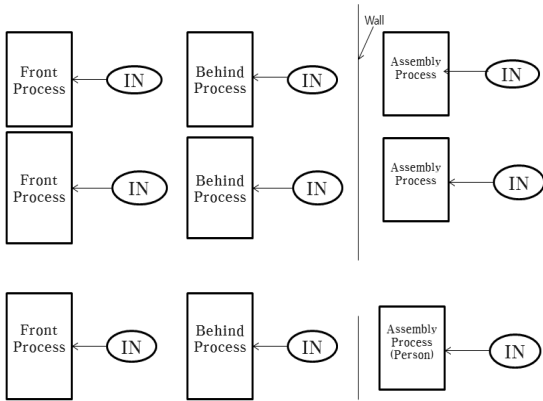


Fig. 2. Process layout

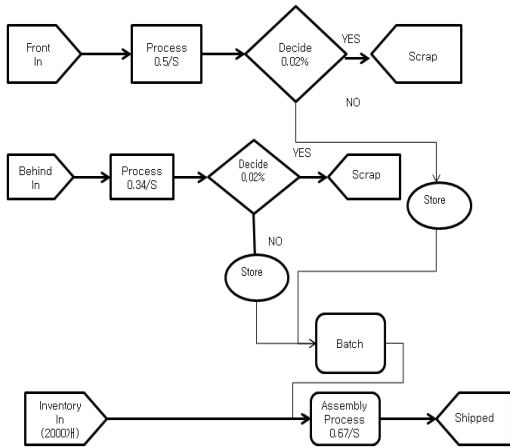


Fig. 3. Real System Process Flow

이 진행된다. 하루 생산량은 2만~2.5만개 이지만 생산성도 낮고, 최종 완성품들은 시간에 맞추어 납기하기 힘들며, 조립공정은 잔업 시간을 많이 필요로 한다.

다음 Fig. 2는 공장의 기계 배치들을 보기 편리하게 만든 공장의 레이아웃이다. 앞면 공정 기계들은 공장의 좌측에 위치하고 있고 뒷면 공정 기계들은 공장의 우측에 위치하고 있다. 그리고 조립공정 기계들은 벽하나 사이에 두고 뒷면 공정 기계들의 우측에 있다. 조립공정은 자동공정과 수동 공정 두 가지가 있는데 본 논문에서는 자동공정 부분에 대해서만 다루기로 하였다.

다음 Fig. 3은 단추공장의 실제 생산 흐름도이다. 앞면(Front In)과 뒷면(Behind In) 공정이 동시에 시작하며 각 공정을 거치고 불량품 폐기되고 아니면 일정한 양을 저장하고 조립공정 전 묶음(Batch)하고 조립공정(Assembly)을 거친 후 출하하게 된다. 그리고 재고(Inventory)는 반

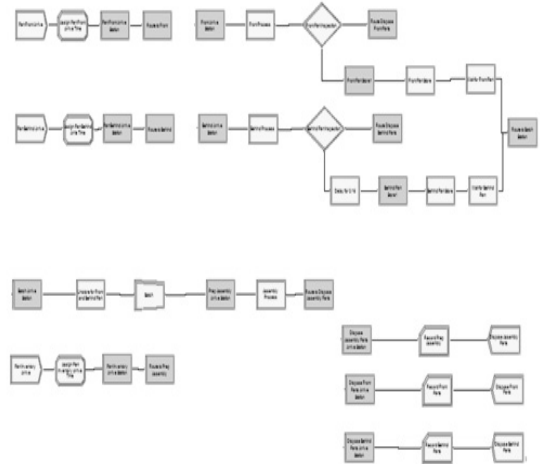


Fig. 4. Real system in Arena

제품은 앞면, 뒷면 각 2,000개를 두고 있으며 앞면과 뒷면 공정이 시작할 때 조립공정에서 바로 공정에 들어간다.

실제 생산시스템을 시뮬레이션 언어 Arena를 이용하여 모델을 만들면 앞에서의 Fig. 3에서처럼 원재료가 투입되고 각 앞면 공정과 뒷면 공정을 거친 후 Decide모듈로 보내는데 불량품이 발생하면 폐기모듈로 보내고 아닌 경우에는 저장모듈로 보내진다. 뒷면 공정을 거친 부품은 시간차이 때문에 각 앞면 공정시간의 차이와 같은 지연을 거치고 저장모듈로 보낸다.

일정한 시간이 지나면 저장모델에서 배치모델로 보내는데 여기서 묶음을 하고 조립공정으로 보내면 가공이 끝나고 출하되게끔 설정하였다. 그리고 공정 내에 이동시간과 기계수리 시간은 60초씩 각각 주었다. Arena에서의 실제 생산시스템 모델을 구축하면 다음 Fig. 4와 같다. 아래 그림4의 시뮬레이션 모형에서 Table 1에 제시된 시간은 실제 변동이 아주적어 상수로 처리 되었다.

3. 생산시스템 이론고찰

3.1 CONWIP 생산시스템

CONWIP(constant work-in-process)은 Spearman et al.(1990)에 의해 최초로 제안 되었고 성능 및 적용성에 장점이 부각되면서 많은 연구대상이 되었다. 또한 Muckstadt and Tayur(1995)과 Bonvik et al.(2000) 등도 CONWIP의 장점에 대하여 Spearman의 주장과 일치하는 분석결과를 제시하였다.

CONWIP은 생산시스템을 직렬공정으로 가정하였을

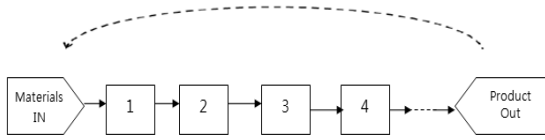


Fig. 5. CONWIP System

때 각 공정에서의 부품에 대한 가공순서가 FIFO(first-in first-out)를 따르고 시스템 전체에 한정된 양의 WIP를 유지하며 최종공정에서 완제품이 출하되면 최초 공정에서 원자재가 투입되는 방식으로 최종 공정이 전체 시스템을 통제하는 방식이다. 다음 Fig. 5는 CONWIP 생산시스템을 Linear System으로 표현하였다. 이 그림에서 점선은 통제의 방향을 나타낸다.

간반 시스템과의 차이점은 CONWIP에서는 최초 공정과 마지막 공정 사이에서는 선행공정이 끝나면 후행공정으로 자동으로 이어지는 밀기 생산 방식이다. CONWIP 같은 새로운 생산방식은 생산시스템 성능에 영향을 미친다. CONWIP의 유효성에 대하여 여러 학자들이 간반(Kanban) 방식하고 비교 연구하였다. 연구중점은 생산주기, 재공품, 응용범위 등 성능평가를 주로 분석하였다. 결과는 모두 CONWIP 방식이 간반 방식보다 우수하다고 나왔고 또한 이러한 혼합방식은 다양한 생산 환경에 적용되고 리드타임과 재고 측면에서도 우수하다(Spearman and Zazanis, 1992).

MRP와의 차이점은 MRP방식을 따르는 생산시스템에는 재고에 대한 기준이 없다. 때문에 재고가 시스템 내에서 누적되고 이론적으로는 시스템 내에서 무한한 양의 재고를 만든다.

이러한 일은 결코 발생하지는 않지만 이러한 악순환을 수정하지 못하면 긴 리드타임, 재공품 재고와 완제품 재고가 많이 쌓일 수 있다. 반면 CONWIP 생산시스템은 일정한 양의 재고만 갖는다.

Fig. 6은 실제 생산시스템을 바탕으로 설계 한 CONWIP 생산시스템 흐름도이다. 단추공장의 실제 생산시스템에서 CONWIP 시스템을 도입하면 앞면 공정과 뒷면 공정이 동시에 시작하고, 각각 공정을 거친 후 불량품이면 폐기되고 아니면 일정한 양이 될 때까지 저장되었다가 조립공정으로 이동한다. 마지막으로 최종공정인 조립공정에서 공정이 끝나고 나가면 앞면과 뒷면 공정에서 원재료가 투입된다.

3.2 DBR 생산시스템

DBR(drum-buffer-robe)은 Goldratt의 Theory of Con-

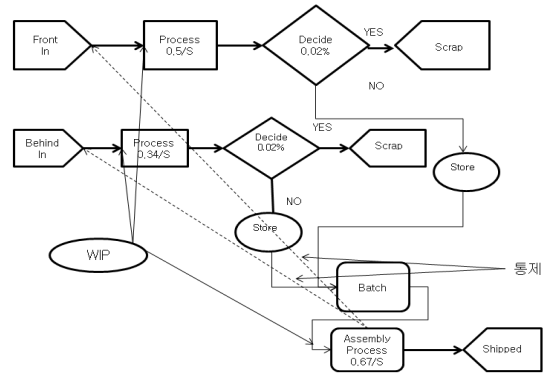


Fig. 6. CONWIP System Process Flow

straint에서 최초로 제안 되었고 생산시스템 연구에 많이 실행 되어 구체화되었다. Goldratt이 제안한 TOC의 아이디어가 생산계획 분야에 응용된 DBR은 Goldratt and Cox(1984), Goldratt and Fox(1986), Spencer and Cox(1995) 등의 연구를 통해 그 실행모형이 구체화되었다(Lee and Seo, 2012).

Fredendall와 Lea(1997)는 시스템의 순이익을 최대화 하는 일정계획을 수립하기 위해 개선 된 제품조합 휴리스틱을 제안하였다. Schragenheim와 Ronen(1990)는 DBR 생산 방식을 도입하려면 다음과 같은 단계를 거친다고 제시하였다.

- (1) 제약자원의 능력이 충분히 활용되도록 계획한다.
- (2) 버퍼의 크기를 정한다.
- (3) 위의 두 단계를 따른 원재료 투입 계획을 정한다.

TOC에서 드럼(drum)은 시스템의 제약을 고려해서 전체 시스템의 진행속도를 결정하고 버퍼(buffer)는 어느 시스템에나 내재되어 있는 혼란이나 불확실성으로부터 시스템을 보호하는 작용을 하고 시스템 내의 병목공정 앞에 놓인다. 로프(robe)는 시스템의 모든 자원을 드럼에 동기화하기 위한 장치이다. DBR도 최초공정과 병목공정 사이에서는 밀기식으로 공정이 진행되므로 밀기/끌기의 혼합 방식의 하나이다. 다음 Fig. 7은 DBR시스템을 Linear System으로 표현하였다. Fig. 5에서와 마찬가지로 점선은 통제의 방향을 나타낸다.

Fig. 8은 실제 단추공장 시스템을 바탕으로 설계 한 DBR 생산시스템의 공정 흐름도 이다. 단추공장의 실제 생산시스템에서 DBR 시스템을 도입하면 앞판 공정과 뒷

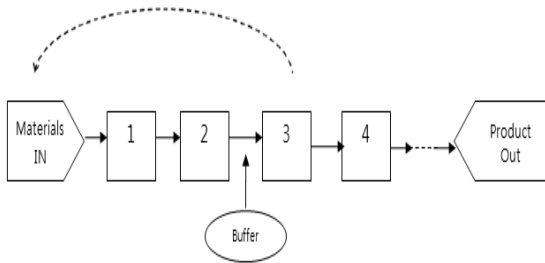


Fig. 7. DBR System

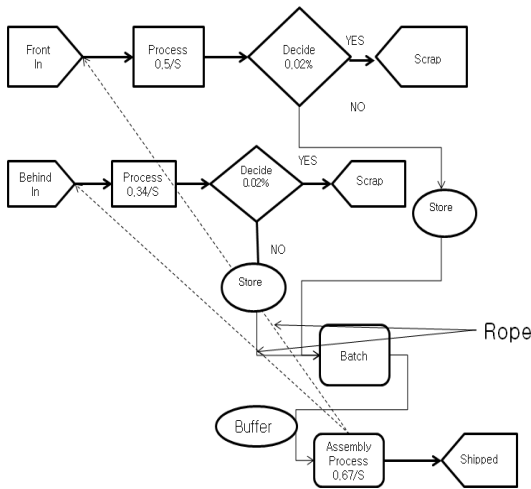


Fig. 8. DBR System Process Flow

면 공정이 동시에 시작하고 각 공정을 거친 후 불량품이면 폐기되고 아니면 일정한 양을 저장한 후 조립공정으로 이동한다. 마지막으로 병목공정인 조립공정에서 공정이 끝나고 나가면 앞면과 뒷면 공정에서 원재료가 투입된다.

4. 분석결과

시물레이션 언어 Arena(10.0 Ver.)를 이용하여 각 시스템에 대한 시물레이션 모델을 분석하였다. 초기 실행 편의를 없애주기 위해 6,000초를 warm-up 시간으로 주었다. 기간은 하루(8시간)로 설정하였고 시간단위는 초로 설정하였다. 그리고 10번의 실행을 반복한 결과 동일한 WIP에서 CONWIP 시스템과 DBR생산 시스템의 결과는 조립공정의 대기행렬에서 Waiting Time의 소수점 뒷자리만 다르게 나오며 Number Waiting에서도 큰 차이가 없음을 볼 수 있다. 따라서 단추공장 생산라인에서 CONWIP과 DBR생산시스템은 차이가 없다고 볼 수 있다(Lee and

Table 2. NEach Machine's Assembly Queue Result

(unit: sec./number)

	CONWIP	DBR 생산시스템	실제 생산시스템
Waiting Time	421.65±0.86 sec	421.91±0.64 sec	4839.95±47.7 sec
Number Waiting	420.16±0.84nu mber	420.42±0.65 number	4637.01±41.68 number

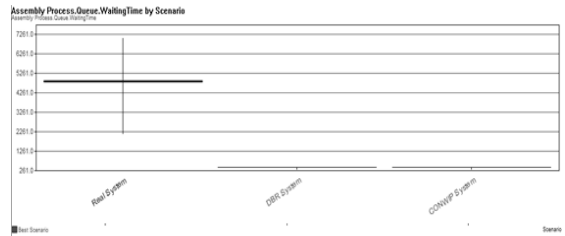


Fig. 9. Best Scenario of Waiting Time

Seo, 2012).

다음 Table 2는 세 시스템의 Assembly Queue를 비교한 시물레이션 결과이다.

반면 실제 시스템의 결과와 DBR 시스템, CONWIP 시스템 결과를 비교 했을 때 Waiting Time은 실제시스템보다 73분 정도 단축되었음을 알 수 있고, Number Waiting도 단축되었음을 볼 수 있다.

위의 결과는 현재 단추공장에서 재공품이 2,000개여서 시물레이션에서도 2,000개로 실험하였다.

Fig. 9은 95% 신뢰수준에서 세 가지 시스템에 대한 Waiting Time 결과를 나타낸다. X축은 각 시스템을 Y축은 조립공정에서의 대기행렬 시간들이다. Table 3에 따르면 95% 신뢰수준에서 CONWIP와 DBR이 Waiting Time 관점에서 더 좋은 성능을 보여주고 있다.

5. 결론 및 추후과제

생산 시스템의 시간과 비용 효율성을 개선하는 것은 경쟁 우위를 구축하고 계속적으로 증가하는 경쟁적인 비즈니스 환경에서 수익성을 향상하는 중요한 수단 중 하나다. 생산통제 관리는 생산 시스템의 중요한 부분으로서 생산계획과 생산 작업의 중요한 수단이다.

본 연구에서는 단추공장 생산시스템에 DBR 생산시스템과 CONWIP 생산시스템을 적용하면 어떤 영향을 미치는지 알아보려고 하였다.

CONWIP은 전체 공정 내의 재공품으로 시스템을 제어하고 DBR은 병목공정의 버퍼로 전체 시스템을 제어한다. 단추공장 시스템에서 시뮬레이션 실행을 통하여 세 가지 시스템을 비교 분석 하였다. 시스템의 특성상 예상했던 대로 DBR 생산시스템과 CONWIP 생산시스템은 S 단추공장 상황에서는 차이가 크지 않았으며, 현재의 생산 시스템보다 우수한 성능을 보여 주었다.

따라서 CONWIP이나 DBR로 현재의 시스템을 개선하면 WIP의 수가 적어지고 그에 따라 발생하는 비용 면에서도 개선효과가 있을 것으로 판단된다.

향후 주요 연구과제로 다음과 같은 두 가지를 고려해 볼 필요가 있다.

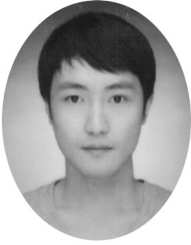
본 논문에서는 수요의 변동성을 고려하지 않았다. 따라서, 고객 수요의 변동에 따라 시뮬레이션 모델을 구축하고 변동에 따라서 생산 통제 방식에 차이가 있는지를 연구 할 필요가 있다. 또한 본 논문에서는 단추공장의 생산 라인에 집중하여 분석 비교하였지만 단추공장에서뿐만 아닌 생산라인에서 출하이후 외주작업에서 진행되는 도금작업까지 추가하였을 때 전체SCM(Supply Chain Management)상의 TOC 도입 결과도 분석 할 필요가 있다. 마지막으로 다른 변수들을 고정시키고 S 단추공장에서 WIP의 최적크기를 구하는 문제도 연구할 필요가 있는 문제로 생각된다.

Acknowledgement

This work was supported by the Ajou University research fund.

References

1. Bonvik, A. M., Dallery, Y. and Gershwin, S. B., "Approximate analysis of production system operated by a CONWIP/ finite buffer hybrid control policy", *IJPR*, Vol. 38, No. 13, pp. 2845-2869, 2000.
2. Cook, D. P., "Simulation comparison of traditional, JIT, and TOC manufacturing systems in a flow shop with bottlenecks", *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 35, pp. 73-78, 1994.
3. Fredendall, L.D. and B.R. Lea, 1997. Improving the product mix heuristic in the theory of constraints, *International Journal of Production Research*, 35: 1535-1544.
4. Gilland, W., "A simulation study comparing performance of CONWIP and bottleneck-based release rules", *Production Planning*, Vol. 13, No. 2, pp. 211-219, 2002.
5. Goldratt, E. M. and Cox, J., *The Goal*, Croton-on-Hudson, NY, North River Press, Inc., 1984.
6. Goldratt, E. M. and Fox, R. E., *The Race*, Croton-on-Hudson, NY, North River Press, Inc., 1986.
7. Jodlbauer, H. and Huber, A., "Service level performance of MRP, Kanban, CONWIP and DBR due to parameter stability and environmental robustness", *IJPR*, Vol. 46, No. 8, pp. 2179-2195, 2008.
8. Kelton, et. al, *Simulation with Arena*, McGraw-Hill, International Edition 2010.
9. Koh, S. G. and Bulfin, R. L., "Comparison of DBR with CONWIP in an Unbalanced Production Line with Three Stations", *IJPR*, Vol. 42, No. 2, pp. 391-404, 2004.
10. Lee, Hochang and Seo, Dong-Won, "Comparison of DBR with CONWIP in a Production line with Constant Processing Times", *Journal of The Korea Society for Simulation*, 12, 2012.
11. Muckstadt, J. A. and Tayur, S. R., "A comparison of alternative Kanban control mechanism: I. background and structural results", *IIE Transaction*, Vol. 27, pp. 140-150, 1995.
12. Schragenheim, E. and Ronen, B., "Drum-buffer-rope shop floor control", *Production Inventory Management Journal*, Vol. 31, No. 3, pp. 18-22, 1990.
13. Spearman, M. L., Woodruff, D. L. and Hopp, W. J., "CONWIP: a pull alternative to Kanban", *IJPR*, Vol. 28, No. 5, pp. 879-894, 1990.
14. Spearman, M. L. and Zazanis, M. A., "Push and pull production systems: issues and comparisons", *Operations Research*, Vol. 40, No. 3, pp. 521-532, 1992.
15. Spencer, M. S. and Cox, J. F., "Master production scheduling development in a theory of constraint environment", *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 36, NO. 1, pp. 80-94, 1995.



전 근 수 (qgs1124@ajou.ac.kr)

2008 연변대학교 경제관리학과 학사
2014 아주대학교 경영학과 석사

관심분야 : 생산/서비스 운영관리, Simulation



장 병 윤 (bychang@ajou.ac.kr)

1996 성균관대학교 산업공학과 학사
2000 Georgia Tech. Operations Research 석사
2002 Georgia Tech. Applied Statistics 석사
2004 Georgia Tech. Industrial and Systems Engineering 박사
2004~2006 Georgia Tech. Post Doc.
2006~2009 KT 네트워크 연구소 선임 연구원
2009~현재 아주대학교 경영대학 경영학과 부교수

관심분야 : SCM, 운영관리, 정보통신경영, BPM, OR/OM, Simulation, Applied Statistics