

시뮬레이션 모델 구축과 분석을 통한 가시오가피 액즙 가공 라인의 최적 배치에 관한 연구

김영진¹ · 박현준¹ · 문정환¹

¹성균관대학교 바이오메카트로닉스

The Study for Optimal Layout of the Eleutherococcus Senticosus Sap Production Line Analyzed by Simulation Model

Young Jin Kim¹, Hyun Joon Park¹, Joung Hwan Mun^{1*}

¹Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea

(Received: October 19th, 2011; Revised: November 10th, 2011; Accepted: November 22th, 2011)

Abstract

The purpose of this study is basically for the use of simulations to enhance productivity. In this paper, the optimal number of allocation in a small and medium industry which produces eleutherococcus senticosus sap, is performed using simulations. The simulation model was developed under considerations of production layout, process & operation, process time, total work time, work in process (WIP), utilization, failure rate, and operation efficient as inputs, and was validated with careful comparisons between real behaviors and outputs of the production line. Therefore, we can evaluate effects and changes in productivity when some strategies and/or crucial factors are changed. Although too many workers and machines could decrease productivity, the eleutherococcus senticosus sap production line in this paper has been maintained many machines. To solve this problem, we determined the optimal number of workers and machines that could not cause any interrupt in productions using simulations. This simulation model considers diverse input variables which could influence productivity, and it is very useful not only for the production line of Eleutherococcus Senticosus Sap, but also for other production lines with various purposes, especially, in the small and medium industries.

Keywords : Productivity, Bottleneck, Simulation, Optimal Layout

1. 서론

농산물 가공 공장과 같은 제조 시스템에서는 이익을 창출하는 것이 궁극적인 목표이며, 이를 위해 양질의 제품을 더 낮은 가격에 생산하는 것이 중요하다(Han and Park, 2002). 또한 생산 라인의 구성방법도 생산성에 중요한 영향을 미치며(Buzacott, 1967), 이러한 생산 라인의 효율은 생산 라인을

구성하고 있는 장비의 고장이나 생산 속도의 불일치 또는 잘못된 생산 계획에 의해 저하 될 수 있다(Hong and Seong, 1992). 전통적으로 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 주로 사용되는 방법은 시행착오(trial and error) 방법과 시뮬레이션을 이용한 방법이다(David, 2005). 시행착오 방법은 생산 라인의 다양한 요소를 직접 변경시켜 보는 방법으로 많은 시간과 비용이 소요되는 문제점을 가지고 있다. 반면에 시뮬레이션을 이용한 방법은 다양한 시나리오를 상대적으로 매우 적은 비용과 시간으로 시뮬레이션 플랫폼 위에서 실현 시켜 볼 수 있는 장점이 있으며(Spedding and Chan, 2001), 실제

*Corresponding author: Joung Hwan Mun
Tel: +82-31-299-4820; Fax: +82-31-299-4825
E-mail: jmun@skku.ac.kr

로 시뮬레이션을 통한 검증 후에 생산라인을 변화시켜 실수와 낭비를 줄여 생산성을 향상시킨 사례들이 다수 발표되고 있다(Boyd, 1998)

Seong 등(1997)은 S철강의 신규 코일센터 건립 시 향후 규모의 증가에 따른 창고 운영방안의 변경 등에 대비한 대처방안을 사전에 제시하였으나, 휴지 계획 등에 의한 휴지 등을 고려하지 않아 실제 처리 물량과 시뮬레이션 물량에 차이가 생기는 것을 제한점으로 제시하였다. Mehra 등(2006)은 시뮬레이션을 이용하여 배치(batch) 크기를 줄이는 연구를 하였다. 하지만 제한된 생산 작업에 한정하여 배치 사이즈를 줄임으로 인한 효과를 검증하는데 어려움이 있었다. Ha(2003)는 시뮬레이션을 이용하여 자동차 도장설비의 레이아웃 및 운영방안의 문제점을 제시하여 해결 방안을 모색하였지만 Skid수와 OHC의 대수에 따른 변화만을 관찰하여 비록 현재 상태에서의 해결안은 될 수 있지만 그 외 변수가 변화되었을 때의 결과는 확인 할 수 없다. Bae(2003)는 컨테이너 터미널에서 운송차량의 도착시간을 사전에 파악한 후 버퍼 야드를 운영하는 방안을 제안하였지만 반출입 작업 시간과 깊은 관련이 있는 마셜링 야드의 장치 계획을 제외하고 시뮬레이션을 한 제한점이 있다.

시뮬레이션 방법을 통한 생산성 향상을 위해서는 생산성에 영향을 끼치는 변수들을 정확히 설정할 필요가 있다. Park and Miller(2002)는 생산성에 영향을 끼치는 다양한 요소들을 설정하였으며, 이러한 변수들은 모두 유기적으로 연결되어 있어 하나의 변수가 변경되면 그 외의 변수들도 영향을 받게 된다.

시뮬레이션을 통한 생산성 향상에 대한 대부분의 기존 연구들은 생산 라인을 개선하고 평가하기 위해 제한된 시뮬레이션 모델을 구성, 활용하였기 때문에 특정 변수를 변화시키면서 다른 변수들을 제약조건으로 두고 생산성 향상을 위한 방안을 찾는 제한점이 있다. 또한 목적한 문제점 이외에 다른 문제점에 대한 검토가 필요한 경우는 모델을 다시 구성해야 하는 문제가 있었다. 이러한 시뮬레이션 모델은 재사용성의 한계를 가지며, 추가적인 모델링은 시간과 비용 면에서 부담이 된다. 또한 모델을 재구성하지 않고 특정 변수만을 변화시켜 적용하는 시뮬레이션 모델은, 목적으로 한 변수들을 변화시켰을 때 다른 요소에 미칠 영향을 예측할 수 없어 실제 적용에 어려움이 있다.

이에 본 연구에서는 국내 한 중소기업의 가시오가피 액즙 생산 라인의 생산성에 영향을 미치는 공정순서, 공정 시간, 작업자 수, 작업 효율, 불량률, 근무 시간, 장비 수 등을 입력 요소로 갖는 시뮬레이션 모델을 개발하고 검증하였다. 검증된 모델은 특정 변수의 변화에 의한 다른 부분의 변화가 예측 가능하며, 이를 활용하여 대상 기업에서 생산성 향상을 위해 가장 큰 문제로 지적되고 있는 장비, 작업자 수, 병목 현상

의 문제를 해결함에 있어 각 공정 요소들의 최적값을 제시할 수 있다. 또한 이는 실제 현장의 공정 개선 방안에 대한 사전 연구로의 의미를 가진다.

2. 재료 및 방법

가. 본 연구의 적용 방법

본 연구에서는 먼저 현재의 생산 라인을 분석하여 생산성에 영향을 미치는 요소를 추출하고, 이 모든 요소들을 입력인자로 하는 시뮬레이션 모델을 완성하여 실제 생산량과 시뮬레이션 생산량과의 비교를 통해 검증한다. 또한, 현장직원 및 연구원들과의 협의와 생산량 기록 등을 통해 현재 생산 라인의 생산성에 영향을 미치는 문제점을 분석하고, 이에 대한 다수의 해결 방안을 도출하며 시뮬레이션 모델을 이용해 개선 효과를 정량적으로 분석한다. 최종적으로 해결 방안들에 대한 분석 결과를 토대로 최적의 대안을 제시한다. 위의 과정을 요약하면 그림 1과 같다.

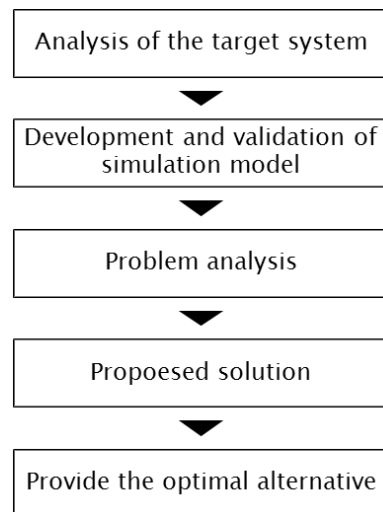


Fig. 1 Process of this study.

나. 연구 대상 시스템(가시오가피 액즙 생산라인)

본 논문의 연구 대상은 충남 천안시에 위치한 A社 가시오가피 공장으로서, 해당 공장의 2009년 데이터를 분석하여 시뮬레이션 모델을 구성하고 공정 분석에 필요한 자료를 수집하였다. 그림 2는 A社 공장의 내부 모습을 AutoCAD를 이용하여 나타낸 것이다.

그림 3은 가시오가피 액즙을 생산하는 각 공정 단계를 나타낸다. ㉠은 120도의 온도에서 12~20시간에 걸쳐 액을 추출하는 과정이며, ㉡는 추출된 액을 7~9시간 동안 농축시키는 과정이다. 농축된 원액은 일시적으로 ㉢의 저장탱크에서

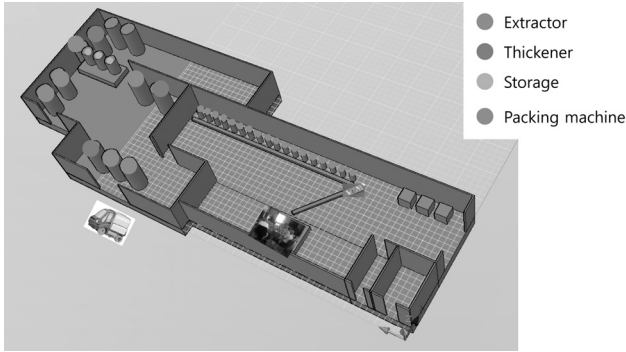


Fig. 2 Production line of eleutherococcus senticosus sap established in A company.

Table 1 The equipments installed in eleuthero-coccus senticosus sap production line

Equipments	Remark
Extractor	5 Extractor (capacity:3 t) 1 Extractor (capacity:1.5 t) 2 Extractor (capacity:0.5 t)-disable
Thickener	2 Thickener (capacity:3 t) 1 Thickener (capacity:1.5 t)
Storage	3 Storage (capacity:0.5 t)
Packing machine	18 Packing machine (capacity:30 L)
Conveyer belt	Length : 16 m, 5.5 m Speed : 0.22 m/s

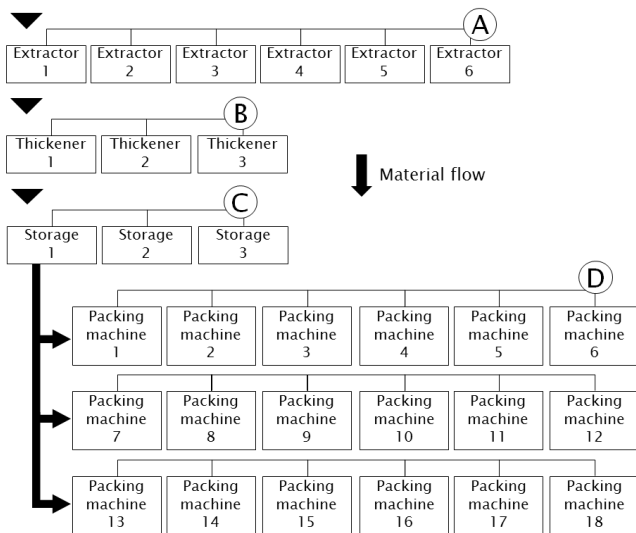


Fig. 3 Process stages of eleutherococcus senticosus sap production line.

Table 2 Working/processing hours of worker and process

Factors of production	Operating time
Worker	08:30 ~ 17:30 (13:00 ~ 14:00 Lunch) (15:00 ~ 15:20 Break)
Extractor, Thickener	24H
Packing machine, Conveyer belt	08:30 ~ 17:30

저장 및 여과 과정을 거친 후 ④의 포장기로 분배된다. 포장기는 1대당 1000포를 생산할 수 있으며 1포당 약 6초가 소요된다. 개별 포장이 완료된 제품은 작업자에 의해 박스 포장되며, 작업자 1인이 60개 단위 2상자를 포장하는데 소요되는 시간은 약 5분 18초로 1포당 약 2.65초가 소요된다.

작업 인원은 당일 제품 생산량에 따라 제품 상자 포장 작업자 2~5명과 재료 운반, 기계 가동, 청소 등 기타 작업을 총괄하는 1명으로 구성되어 있다. 공장 내에 설치된 장비의 구성은 표 1과 같다.

현재 A 업체의 근무 시간은 표 2와 같다. 작업자는 점심시간과 20분의 휴식시간을 포함하여 9시간 동안 근무하였으며 추출기와 농축기는 24시간 가동되었고, 그 외 장비의 가동시간은 작업자 근무 시간과 동일하다.

다. 시뮬레이션 모델을 위한 전처리

생산운영과 실적에 대한 자료를 수집하고 전처리하여 시물

레이션 모델 구성을 위한 데이터를 결정하였다. 그림 3의 생산 공정 구성과 장비, 표 1의 장비 현황, 표 2의 근무 시간을 현재 작업 공정에 맞도록 구성하고, 표 3과 같이 실제 공장에서 사용되는 장비의 세부 공정과 1일 생산량인 약 12000포(개당 105 mL)를 생산하기 위해 소요되는 공정 시간 및 단위 공정 시간, 식 (1)과 식 (2)의 작업 효율(%), 가동률(%) 등을 시뮬레이션 모델에 맞도록 구성하였다. 이러한 모든 요소들은 시뮬레이션 모델의 입력 값으로 반영되어 현재 생산 라인을 구현하는데 필수적으로 활용된다.

Table 3 Processing time of each process

Process	Sub process	Process time (sec)	A unit process time (sec)
Extract	1(3t)	5.04s	5.04s
Thickening	1(1.5t)	2.52s	2.52s
Packing	10	6s	0.6s
Worker	2	2.65s	1.325s

*A unit process time=Process time/Number of sub process

$$\text{작업 효율}(\%) = \frac{UPH_{실적}}{\text{이론 } UPH_{실적}} \times 100 \tag{1}$$

*UPH : Uint per Hour(시간당 생산량)

$$\text{가동률}(\%) = \frac{\text{실 가동시간}}{\text{근무시간}} \times 100 \tag{2}$$

3. 결과 및 고찰

가. 시뮬레이션 모델 완성 및 검증

전처리가 완료된 실적 데이터를 바탕으로 Siemens PLM Software사의 PlantSimulation을 이용하여 현재 생산 라인에 대한 시뮬레이션 모델을 구성하였다. PlantSimulation(구 eM-Plant)은 생산시스템의 설계 및 운영에 사용되는 소프트웨어로 빠르고 정확하게 생산 라인, 공장, 설비 등의 설계 및 최적화를 도와주는 소프트웨어다(Siemens, 2011).

그림 4는 완성된 시뮬레이션 모델의 구성 개념을 보여주며, 표 4는 완성된 시뮬레이션 모델의 정확도를 검증하기 위해 실제 생산량과 시뮬레이션을 이용하여 6개월 동안 발생한 생산량을 비교한 것이다.

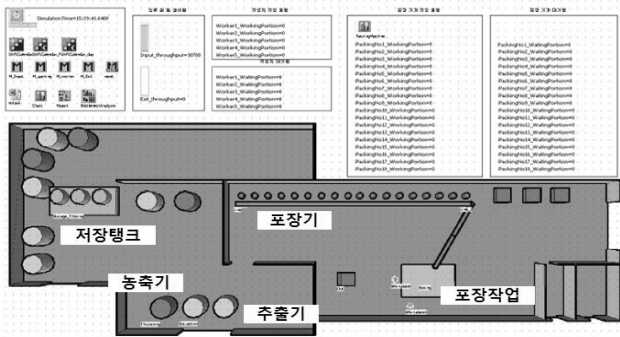


Fig. 4 Simulation model developed using Plant Simulation of Siemens PLM software company.

Table 4 The productivity performance of actual production line compared with the simulation model developed in this study

	Actual data	Simulation data	Ratio (%)
Total production time (sec)	133200 ~140400 (Avg. 136800)	136500.38	Avg. 99.78
Sap production time (sec)	86400	86400	100
Working hours of worker (sec)	12600 ~19800 (Avg. 16200)	16200	Avg. 100
Total output	Avg. 12000	11943	Avg. 99.53

검증된 시뮬레이션 모델에 입력 요소(공정 순서, 근무 시간, 작업 순서, 공정 시간, 작업자 수, 장비 수, 가동률, 불량률 등)를 변화시켜 시뮬레이션을 수행함으로써 생산성이 어떻게 변화되는지를 예측할 수 있으며, 이는 대안 적용 시 실제 생산 라인의 실적 변화를 예측할 수 있음을 의미한다.

나. 생산 라인의 문제점

완성된 시뮬레이션 모델을 이용하여 어떠한 입력 요소를

Working efficiency of packing machines

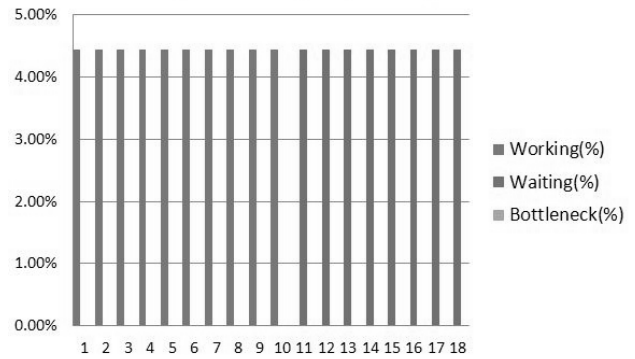


Fig. 5 Operating efficiency of packing machine.

Working efficiency of workers

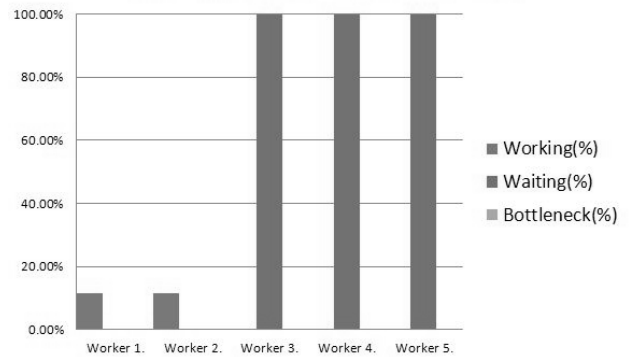


Fig. 6 Working efficiency of workers.

Table 5 Analysis of bottleneck simulation at each process

	Bottleneck (%)	Waiting (%)
Extraction	16.68	0
Packing	3.15	14.56
Packing machine	0	13.56
Worker	0	6.47

변화시켜 현재 생산 라인의 생산성을 높일 것인가를 결정하기 위해서는 현 생산 라인의 문제점을 파악하는 것이 선행되어야 한다. 이를 위하여 생산에 직접 참여하는 생산직 작업자, 관리자 그리고 생산 실적을 나타내는 A사의 생산 내역을 기준으로 문제점을 분석하였다.

분석 결과 현재 생산 라인의 공정 순서와 근무 시간 등의 측면에서는 별다른 문제를 보이지 않았지만, 장비가 필요이상으로 많다는 문제점이 도출되었다.

즉, A사는 18대의 포장기 중 현재 10대의 포장기를 사용하고 있었으며, 그림 5와 같이 사용되는 포장기의 작업 효율은 약 4.45%로 매우 낮은 값을 보이고 있다. 또한 그림 6과 같이 작업자의 작업효율 역시 2명의 작업자가 9.2%의 낮은 효율을 보이고 있다. 그리고 표 5에서는 추출 공정에서 16.68%

의 병목 현상이 나타나 다른 공정에 비해 높은 값을 가짐을 알 수 있다. 이는 저장 탱크의 용량 부족이 원인으로 분석되었다.

다. 대안제시

제시된 문제점을 해결하기 위해서는 생산성에 영향을 미치지 않는 최적의 배치를 결정해야 하며, 이를 위해 시뮬레이션 모델을 이용하여 문제가 되는 부분을 분석하였다. 그 결과 작업자와 포장기의 수가 필요 이상으로 과도하고, 저장 및 여과 용량의 부족으로 병목 지점이 발생함을 알 수 있었다.

따라서, 현재 생산량을 만족하는 수준에서 작업자와 포장기의 수를 감소시켜 시뮬레이션 함으로써 최적의 작업자와 포장기 수를 결정하였다. 또한 성수기에 발생하는 초과 주문량을 만족시킬 수 있도록 입력 값을 증가 시켰을 경우에 대한 저장 및 여과 공정의 용량과 작업자와 포장기의 최적 수를 시뮬레이션을 통하여 검토하였다.

즉 시뮬레이션 모델을 이용하여 다음의 2가지 대안에 대한 시뮬레이션 결과를 도출하고자 하였다.

대안 1) 현재 생산량을 유지하는 범위에서 작업자와 포장기 수의 감소가 필요하다.

대안 2) 현 생산 라인에서 성수기 주문량에 도달하기 위하여 병목 지점의 용량을 증가시켜야 하며, 동시에 작업자와 포장기 수의 변경이 필요하다.

라. 시뮬레이션 결과 분석

실제 생산 근무 시간에 따라 수행한 시뮬레이션에서 각 공정의 작업자와 포장기 수를 감소시키며 목표한 생산량에 도달하였을 때의 수를 최적 값으로 결정하였다(대안 1). 또한 현 생산 라인에서 성수기 물량 생산을 위하여 입력 요소를 증가시켰을 경우 병목 지점으로 지적되었던 저장 및 여과 공정은 용량을 증가시킨 후 시뮬레이션을 수행하여 성수기 생산량을 만족하는 작업자와 포장기의 수를 최적의 값으로 결정하였다(대안 2).

표 6은 시뮬레이션 모델에 대안 1을 적용시킨 결과이며,

Table 6 The productivity simulated by considering the alternative 1

		Worker	
		1 workers	2 workers
Packing Machine	2 machines	84.97*	85.37*
	3 machines	96.37*	99.99*
	5 machines	85.01*	99.99*
	10 machines	99.99*	99.99*

*(Output/Input) · 100

Table 7 Simulation results considering the alternative 2

	present	Increasing the input	Increasing capacity of storage
Total input	11945	14289	35728
Total output	11944	14284	20320
Bottleneck of extractor	16.66	16.65	16.65
Bottleneck of thickener	0	30.39	0
Efficiency of packing machine	23.43	28.02	70.06
Efficiency of worker	58.61	70.11	99.69

Table 8 The productivity simulated by considering the alternative 2

		Worker		
		2 workers	3 workers	4 workers
Packing machine	6 machines	-	-	90.42*
	7 machines	-	-	99.99*
	8 machines	-	-	99.99*
	10 machines	56.88*	85.30*	99.99*

*(Output/Input) · 100

입력량 대비 생산량을 의미한다. 대안 1의 시뮬레이션 결과 현재 10대의 포장기를 3대로 감소시키고 작업자의 수는 동일하게 유지하였을 때에도 동일한 생산량을 보이고 있다.

표 7은 시뮬레이션 모델에 대안 2를 적용시킨 결과로, 현재 공정 라인에 입력량을 성수기 용량(36000개)으로 증가시킨 결과이다. 현재(12000개)의 생산량을 생산하기 위해서 현 공정을 개선할 필요는 없지만, 입력량을 3배로 증가하였을 때에는 농축기에서 발생한 병목현상으로 인하여 요구 생산량을 충족시키지 못하는 것을 알 수 있다. 이에 농축 다음 공정인 저장 및 여과의 용량을 36000개를 포함하도록 증가시킨 결과 농축기 병목이 사라지는 것을 볼 수 있다. 하지만 작업자의 효율이 99%를 넘어 작업자 수의 부족으로 작업이 완료되지 않는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 표 8과 같이 작업자 수를 증가시킴과 동시에 포장기의 수를 감소시켜 작업자 4명과 포장기 7대가 최적 값을 확인하였다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 가시오가피 액즙을 생산하는 국내의 한 중소 제조 기업을 대상으로, 생산성을 향상시키기 위하여 생산성에 영향을 주는 요소들이 포함된 시뮬레이션 모델을 완성한 후, 이를 이용하여 작업자와 장비의 최적 배치를 제안하였다.

본 연구에서 사용된 방법은 사례연구로 중소 제조 기업의 작업자와 장비 배치에 적용하였지만, 완성된 시뮬레이션 모델은 작업자와 장비 배치 외에 생산량과 밀접한 관련이 있는 주요 입력 값들로 구성되어 있어, 입력요소 변화에 따른 생산량의 변화를 실시간으로 확인 할 수 있는 장점이 있다. 이는 문제가 되는 공정만 따로 시뮬레이션 모델을 구성하여 그와 관련된 분석만 수행하는 기존의 방법과는 달리 생산성과 관련된 모든 요소를 입력변수로 고려하여 그 변화에 대한 다른 요소들의 복합적인 변화를 분석할 수 있음을 의미한다.

즉, 본 연구와 같이 생산 장비의 추가와 감소에 따른 생산량의 변화를 시뮬레이션 모델을 이용하여 예측 할 수 있고, 예측된 결과와 장비 유지비용의 비교를 통해 생산 이익을 고려하여 실제 공정에서 장비를 추가 할 것인가를 결정할 수 있다.

또한 근무 시간, 재공재고, 불량률 등에 따른 결과 역시 시뮬레이션을 통하여 분석이 가능하며, 이러한 변화 요소들을 시뮬레이션 수행을 통한 검증 후에 변화시켜 실수와 낭비를 줄일 수 있게 되어 생산성을 향상시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ0074600 22011)의 지원에 의해 이루어진 것임.

참 고 문 헌

1. Bae, J. U. 2003. A Simulation Study on Buffer Yard in a Container Terminal. *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering* 8(4):95-105.
2. Ha, J. W. 2003. Analysis of the Paint Shop Layout and Operation Policy Using Simulation. *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering* 8(1):185-196.
3. Boyd L. 1998. Digital factories. *Computer Graphics World* 21(5):45-53.
4. Buzacott, J. A. 1967. Automatic Transfer Lines with buffer stocks. *The International Journal of Production Research* 5(3):183-200.
5. Han, M. S. and D. J. Park, 2002. Optimal buffer allocation of serial production lines with quality inspection machines. *Computers & Industrial Engineering* 42(1):75-89.
6. Spedding T. A. and K. K. Chan, 2001. System level improvement using discrete event simulation. *International Journal of Quality & Reliability Management* 18(1):84-103.
7. Hong, Y. S. and D. H. Seong, 1992. The analysis of an unreliable two-machine production line with random processing times. *European Journal of Operational Research* 68(2):228-235.
8. Siemens. 2011. Plant Simulation. Siemens. Available at: www.siemens.com. Accessed 10 August 2011.
9. David K, W. 2005. Simulation with Arena 3rd ed., McGrawHill.
10. Park, Y. H. and Miller, D. M. 2002. Multi-Factor Analysis of Firm-Level Performance Through Feed-Forward, Feed-Back Relationships. *The Korea Society For Simulation* 11(1):59-70.
11. Seong D. H. 1997. A Simulation Model for the Analysis of Newly Constructed Coil Center. *The Korean Production And Operations Management Society* 8(1):75-88.
12. Mehra S., R. Anthony I., Gregory T. 2006. simulation-based comparison of batch sizes in a continuous processing industry. *Production Planning & Control* 17(1):54-66.