

# 농촌의 소규모 가공사업장 생산성 향상을 위한 시뮬레이션 기법의 적용 사례 연구\*

## A Case Study in Applying the Simulation Method to Improve Productivity of Small Agricultural Manufacturer

김영진\*\* · 박현준\*\*\* · 문정환\*\*\*\*

Young Jin Kim · Hyun Joon Park · Joung Hwan Mun

### Abstract

Due to the increase of the number of farmers who have entrepreneurial intentions and the expansion of governmental support to invigorate the regional economy, the interest in manufacture of high-quality agricultural processed food is increasing, and the study of the method to realize it efficiently is continuing. Especially, the method to visualize a manufacturing process by simulation and analyze it to extract an improved scheme has advantages of saving time and cost in comparison with trial and error method. In this study, the current manufacturing environment was analyzed by applying simulation on Korean traditional sweets, which is typical agricultural processed food. By extending this kind of method into small businesses processing other agricultural products, as well as Korean traditional sweets, it can draw strengthening of comparativeness through the improvement of productivity and product quality.

---

\* 본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: #PJ 007460022012)의 지원에 의해 이루어진 것임.

\*\* 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 박사과정. e-mail: yj7530@gmail.com

\*\*\* 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 석사과정. e-mail: hyunjun21@skku.edu

\*\*\*\* 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 교수. 교신저자. e-mail: jmun@skku.edu

주요어(key words): 농산물 가공(Agricultural Food Processing), 생산성  
(Productivity)

## 1. 서론

농촌에서는 일반적으로 지역특산물을 이용한 가공식품을 생산하여 지역경제와 농산물 소비를 활성화하고 있다. 그러나 농촌의 가공식품 생산 공장은 대부분 규모가 작고 영세하여 생산 과정이 수작업에 의존하고 있고, 체계화된 생산 방법이 정립되어 있지 않아 품질 저하 및 효율성 감소가 유발되어 경쟁력이 약화되고 있다. 또한 농민들은 농식품, 전통주 등의 소규모 가공사업의 창업의지가 강함에도 불구하고, 가공 기술 기반이 취약하여 부업수준에 머물고 있어 단순 가공 기술보다는 종합적인 창업 컨설팅을 받기를 희망하고 있다. 이에 따라 김제, 완주, 남원, 장수 등에서는 농산물 종합가공센터를 설립해 창업을 희망하는 농업인들에게 고품질의 가공식품을 효과적으로 제조할 수 있는 장비, 기술, 제조 방법 등을 포함한 종합적인 창업 컨설팅을 제공하고 있다.

이와 같이 고품질의 가공식품을 효과적으로 제조하기 위해서는 현재의 수작업 중심의 소규모 가공 공장을 새로 건설하거나 개선하는 대규모 지원 사업이 필요하며 전문가들에 의한 다양한 대안 및 개선안을 검토해야 한다. 하지만 숙련된 전문가에 의해 개선안에 대한 분석 및 예측이 이루어진다 하여도 정성적인 판단에 의한 신뢰도 확보가 제한되는 문제점이 있다(채종인 & 박양명, 2010). 또한 실제 공정을 변경해 가며 최적의 설계안을 도출하는 방법도 시간과 비용적인 노력이 매우 많이 필요하기 때문에 현실적으로 불가능하다(한용희, 2009). 따라서 최근에는 시뮬레

이선 기법을 이용하여 현재 공정을 모델링하고 이를 분석한 후에, 가장 문제가 되는 공정부터 개선안을 도출하여 시뮬레이션을 수행함으로써 설계 변경에 대한 예측 과정의 신뢰도를 높이는 방법이 널리 이용되고 있다(조규성 & 이승훈, 2010).

따라서 본 연구에서는 대표적 전통 가공 식품인 한과 생산 업체에 시뮬레이션 기법을 적용하여, 소규모 가공 공장의 창업을 희망하는 농업인에게 제조 프로세스의 최적안을 제공하고 현 공정에 대한 문제점을 분석한다. 이는 향후 공정 개선안 도출을 위한 기초 자료로 활용되어 농가의 경제성 향상을 도모할 수 있다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 대상 한과 사업장

본 연구의 대상은 전라남도 담양군에 위치한 A한과업체의 생산 공장이다. 동종 업계의 타 업체에 비해 비교적 자동화된 생산 시스템을 구축하고 있다. 시뮬레이션을 위한 대상 공정은 한과업체의 대표적인 제품인 유과의 제조 공정으로 선정하였다. 유과 제조 공정은 최초 원재료인 참쌀을 불리는 침지 공정으로 시작하여 최종 제품에 대한 포장 공정까지 총 13개의 세부공정으로 이루어져 있으며, 전체적인 공정은 다음 <그림 1>과 같다.



〈그림 1〉 유과 제조 공정

## 2.2. 한과 제조 공정 정보

정확한 시뮬레이션 모델 구축을 위해서는 현재 생산 현장에서 수행되고 있는 공정에 대한 정확한 데이터를 수집하는 것이 매우 중요하며(김원경, 2003), 수집된 정보는 시뮬레이션 모델 구축을 위한 입력 요소로 활용된다.

본 연구에서는 작업표준서, 질의응답, 작업관찰 및 측정 등의 방법을 통해 각 공정에서의 작업 순서, 작업 시간, 원재료 사용량, 장비 운용 시간, 작업자 수, 장비 규모, 공정별 생산량 등의 정보를 다음과 같이 수집하였다.

### 2.2.1. 침지 공정

침지 공정에서는 유과를 만들기 위한 원재료인 찹쌀을 가공하기 전, 전처리하는 과정으로 찹쌀을 약 7일간 물에 불리는 과정이며, 매일 1일 생산을 위한 200kg의 찹쌀을 처리한다.

### 2.2.2. 수세 공정

수세 공정에서는 침지 공정에서 처리된 찹쌀을 세척하며, 1명의 작업자가 오후 13시 30분부터 약 1시간 동안 수작업으로 200kg의 찹쌀을 처리한다.

### 2.2.3. 분쇄 공정

분쇄 공정에서는 200kg의 찹쌀을 분쇄하며, 1명의 작업자가 오후 13시 30분부터 2시간 50분간 1대의 분쇄장비를 이용해 작업을 수행한다.

### 2.2.4. 반죽 공정

반죽 공정에서는 분쇄된 찹쌀가루를 22kg 단위로 1명의 작업자가 1대의 장비를 이용해 반죽하며, 작업시간은 오후 13시 30분부터 3시간 15분이 소요된다. 분쇄 공정과 반죽 공정은 1명의 작업자가 두 공정을 모두 관리하며, 장비가 운용되는 시간에 다음 공정에 대한 예비 작업을 수행하는 형식으로 작업을 진행한다.

### 2.2.5. 찜 공정

찜 공정에서는 반죽된 찹쌀가루에 물과 소주를 첨가하여 5kg 단위로 12개씩 작업을 수행한다. 1회 작업시간은 1시간이고 2명의 작업자가 오전 8시 30분부터 총 4회의 작업을 수행하며 12시 30분에 종료된다.

### 2.2.6. 편치 공정

편치 공정은 찜 공정에서 나온 재료를 7kg 단위로 나누어 편칭 작업을 수행하며, 1회 작업 시 약 3분 정도 소요되고, 찜 공정을 수행하는 작업자가 찜 공정의 장비 운용 시간 차이를 이용하여 수행한다.

### 2.2.7. 성형 공정

성형 공정은 편칭된 반죽을 유과 산자 사이즈로 절단하는 과정으로, 1.4m의 소형 컨베이어벨트에서 이동하는 반죽을 2.2회/1초 간격으로 절단한다. 작업 시간은 13시 30분부터 4시간이 소요되고, 1회 절단 시 5개의 반데기가 생성되며, 3명의 작업자가 작업을 수행한다. 절단된 반데기는 바로 밀가루를 도포하여 건조기로 운반되고, 1회 운반에 약 420개의 반데기가 운반되며, 건조는 당일 근무시간이 종료되기 직전 시작하여 당일 작업이 시작되기 직전에 종료된다.

### 2.2.8. 밀가루 제거 공정

밀가루 제거 공정은 성형 공정에서 건조가 완료된 반데기의 표면에 있는 밀가루를 제거하는 공정으로 1명의 작업자가 1회 작업시 4kg 단위로 수행하며, 오전 8시 30분부터 1시간 40분이 소요된다. 또한 1대의 장비가 운용되며 작업자는 장비가 작동하는 시간에 1회 작업한 분량을 다음 공정으로 운반한다.

### 2.2.9. 튀김 공정

튀김 공정은 오전 8시 30분부터 종일 작업으로 진행되고, 기름의 온도에 따라 2개의 자동화된 라인으로 구성되며, 저온에서 1차 튀김 작업이 진행되고 바로 고온에서 2차 튀김 작업이 진행된다. 1차 튀김 라인과 2차 튀김 라인은 각각 6.4m, 5.2m의 길이를 가지며 8초 단위로 1개의

튀김틀이 0.4m를 이동한다. 반데기가 튀김 장비에 들어가기 직전 3명의 작업자가 반데기를 튀김틀에 삽입하는 작업을 수행하고, 1회 작업 시 약 10초 정도의 시간이 소요된다.

#### 2.2.10. 검사 공정

검사 공정에서는 튀김 공정이 종료된 유과를 4.1m의 컨베이어벨트를 이용해 이동시키며 중간에 불량 산자를 선별해 낸다. 이 과정에서 약 5%의 불량 산자가 발생하며, 2명의 작업자가 8시 30분부터 17시 30분까지 종일작업으로 작업을 수행하고, 컨베이어벨트는 1.11m/s로 이동한다.

#### 2.2.11. 조청 및 고명 도포 공정

조청 및 고명 도포 공정은 검사 공정에 이어 1대의 장비에 의해 자동으로 수행되며, 3명의 작업자가 관찰하며 이동하는 산자를 정리하는 작업을 종일 수행한다. 작업이 종료된 유과는 1바구니에 약 600개씩 수집되어 작업자 1명에 의해 냉각 공정 장소로 운반되며, 약 600개를 수집하는 데 2분이 소요된다.

#### 2.2.12. 냉각 공정

냉각 공정에서는 전 공정에서 운반된 유과를 바구니 단위로 집적하여 2시간 동안 상온에서 냉각시킨다.

#### 2.2.13. 포장 공정

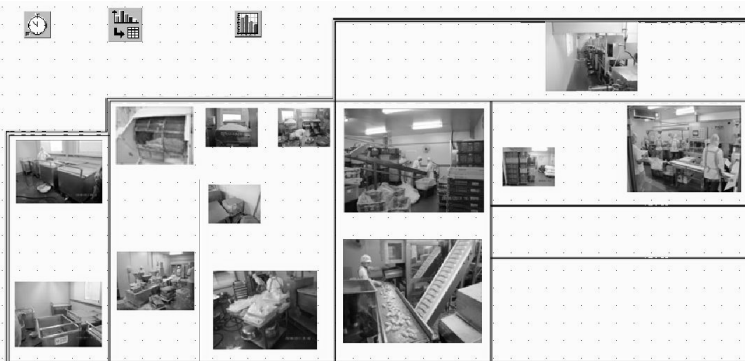
포장 공정은 유과를 3개 단위로 포장하는 소포장 작업과 이를 다시 박스에 포장하는 박스포장 작업으로 구성되며, 종일작업으로 이루어진다. 소포장 작업은 5.78m의 포장라인에서 포장용기가 자동으로 이동하는 동안 5명의 작업자가 유과를 3개 단위로 포장용기에 삽입한다. 포장라인은

3초 단위로 1회에 0.13m씩 이동하며 총 44회 이동하고, 1회 이동 시 3  
개들이 소포장용기 3개(총 9개의 유과)가 이동한다.

### 2.3. 한과 제조 공정에 시뮬레이션 기법 적용

실제 작업 현장에서 수집된 데이터를 바탕으로 Siemens PLM Software  
사의 PlantSimulation을 이용하여 현재 생산 라인에 대한 시뮬레이션  
모델을 구성하였다. PlantSimulation은 실제 생산시스템을 컴퓨터상에서  
디지털 모델로 구현하여 생산 공정 및 설비, 작업자에 대한 분석을 빠  
르고 정확하게 시뮬레이션 할 수 있도록 개발된 소프트웨어다(Siemens,  
2011).

시뮬레이션 모델은 전술한 13개의 세부공정에 대해 모델링 되었으며,  
각 공정들 간의 물류이동을 포함하여, 유과 생산의 전 공정을 하나의 모  
델로 구성하였다. 구성된 모델은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> Plant Simulation을 이용한 유과 생산 공정 시뮬레이션 모델



시물레이션 모델의 입력 데이터는 현장에서 수집한 정보를 그대로 사용하였으며, 일일 근무시간은 08시 30분~17시 30분이고, 점심시간은 12시 30분~13시 30분으로 입력하였다.

또한, 하루 생산량이 불량률을 고려하였을 경우 유과 80,000개라는 정보와 하루 찹쌀 소비량이 200kg인 정보를 바탕으로 각 공정에서의 작업시간은 유과 1개를 생산하는 데 소요되는 시간을 산출하여 입력하였다. 예를 들면, 수세 공정의 경우 찹쌀 200kg을 작업하는 데 소요되는 시간이 1시간(3600초)이므로, 유과 한 개(찹쌀 2.375g 소비)를 작업하는 데 0.04275초가 소요되는 것으로 입력하였다. 이는 유과 생산 공정 특성상 침지, 수세, 분쇄, 반죽, 찜, 편치 공정은 찹쌀 200kg에 대한 작업이 한꺼번에 이루어지기 때문에 유과 1개 단위의 물류이동을 모사하기가 제한되기 때문이다. 따라서 각 공정의 작업시간은 보통 초(sec) 단위로 나타난다. 시물레이션 모델 구축을 위한 주요 입력 데이터는 <표 1>과 같다.

<표 1> 공정별 주요 입력 데이터

공정명	설비대수 (대)	주요 작업시간(초)	공정명	설비대수 (대)	주요 작업시간(초)
침지	1	0.17100	밀가루 제거	1	0.07125
수세	1	0.04275	튀김	2	122.520 (라인 입력)
분쇄	1	0.12113	검사	1	3.69999 (라인 입력)
반죽	1	0.13893	조청 및 고명 도포	1	0.2
찜	1	0.17100	냉각	·	0.48
편치	1	0.06412	포장	2	132.0 (라인 입력)
성형	1	0.09090			

### 3. 연구 결과

#### 3.1. 가상 한과 제조 공정 검증

본 연구에서 선정한 대상 시스템은 다른 제조 공장에 비해 비교적 소규모인 공장으로서, 공정에 대한 관리 및 통제가 숙련자의 경험에 의해 이루어지고 있어 다소 비과학적이라 할 수 있다. 또한 각 세부 공정에 대한 입출력 데이터가 관리되고 있지 않고, 작업자들이 여러 공정을 이동하며 관리하고 있기 때문에 각 세부공정에 대한 분석이 제한된다. 따라서, 본 연구에서는 현장에서 관리자를 통해 획득한 정보인 5%의 불량률을 고려한 일일 기대생산량(유과 80,000개)과 시뮬레이션 모델에서 산출되는 일일 생산량을 30일 간 비교하여 검증을 수행하였다.

검증 결과, 일일 기대생산량 대비 시뮬레이션 생산량의 오차율은 약 0.01%~0.04%의 분포를 보이고 있으며, 이는 99.9% 이상의 정확도를 의미한다. 따라서 시뮬레이션 모델은 실제 공정과 매우 유사하게 구축되었다고 할 수 있다. 30일에 대한 세부적인 오차율은 <표 2>와 같다.

$$\text{오차율(\%)} = \frac{|P_e - P_s|}{P_e} \times 100$$

$P_e$  = 기대생산량(80,000개)

$P_s$  = 시뮬레이션 생산량

〈표 2〉 시뮬레이션 검증 결과

시뮬레이션 일수 (일)	시뮬레이션 생산량 (개)	오차율 (%)	시뮬레이션 일수 (일)	시뮬레이션 생산량 (개)	오차율 (%)
1	79977	0.029%	16	80028	0.035
2	80010	0.013%	17	80013	0.016
3	79977	0.029%	18	79977	0.029
4	80016	0.020%	19	80019	0.024
5	80010	0.013%	20	79965	0.044
6	79971	0.036%	21	80034	0.043
7	80031	0.039%	22	79977	0.029
8	79977	0.029%	23	80010	0.013
9	80010	0.013%	24	80013	0.016
10	79977	0.029%	25	79974	0.033
11	80010	0.013%	26	80013	0.016
12	80010	0.013%	27	79974	0.033
13	80001	0.001%	28	80034	0.043
14	80010	0.013%	29	80010	0.013
15	79956	0.055%	30	79977	0.029

### 3.2. 현재 한과 제조 공정 분석

검증된 시뮬레이션 모델을 이용하여 현재 공정에 대한 시뮬레이션을 실시하였고, Plant Simulation 소프트웨어 내에 포함되어 있는 Bottleneck analysis 기능을 이용하여 각 공정의 작업효율(Working), 작업대기비율(Waiting)을 분석하였다. 작업효율(Working)은 계획된 생산시간 대비 실제 작업을 수행하는 시간을 의미하며, 작업대기비율(Waiting)은 전 공정에서 물류를 공급받지 못해 대기하는 시간을 계획된 생산시간에 대비해 나타낸 비율이다. 분석 결과는 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉 주요 작업별 시뮬레이션 수행 결과

공정명	Waiting (%)	Working (%)	공정명	Waiting (%)	Working (%)
침지	0.00	100.00	밀가루 제거	59.56	40.44
수세	75.00	25.00	튀김	4.25	84.64
분쇄	29.17	70.83	검사	50.59	38.30
반죽	18.75	81.25	조청 및 고명 도포	41.69	47.20
찜	0.00	100.00	냉각	88.89	0.00
펼치	62.50	37.50	소포장	4.28	84.61
성형	47.52	52.48	박스포장	4.92	83.97

먼저 침지 공정과 찜 공정은 작업효율(Working)이 100%로 분석되었다. 이는 해당 공정이 상대적으로 다른 공정에 비해 작업 소요시간이 길기 때문에 발생하는 현상이다. 작업 소요시간이 긴 공정은 다음 공정의 작업 소요시간이 상대적으로 짧을 경우, 그 공정에 물류가 공급되지 않아 작업효율을 떨어뜨릴 수 있다. 본 연구의 유과 제조 공정에서도 침지 공정과 찜 공정의 다음 공정인 수세 공정과 펼치 공정의 작업대기비율(Waiting)이 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 침지 공정과 찜 공정의 경우 장비를 증가시켜 해당 공정의 작업 소요시간을 감소시키면 다른 공정과의 밸런스를 확보할 수 있을 것이라 판단된다.

검사 공정 또한 작업효율(Working)에 비해 작업대기비율(Waiting)이 매우 높은 문제를 가지고 있다. 이는 전 공정인 튀김 공정이 비교적 효율적으로 작업을 수행하고 있음에도 불구하고, 검사 공정의 작업 소요시간이 튀김 공정의 작업 소요시간에 비해 너무 작기 때문에 나타나는 현상이다. 이러한 문제는 검사 공정의 작업자 수를 감소시키거나 검사 장비의 라인 길이를 감소시킴으로써 튀김 공정과 검사 공정 간의 불균형을 완화시킬 수 있을 것으로 판단되며, 튀김공정의 장비를 증가시키는

것 또한 개선안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

냉각 공정의 경우 조청 및 고명 도포 공정에서 나온 유과들을 상온에서 단순히 방치하여 냉각시키는 작업으로, 시뮬레이션 상에서 버퍼를 이용해 모델을 구성하였기 때문에 작업효율(Working)이 0으로 나온 것으로 사료된다.

포장(소포장 및 박스포장) 공정, 튀김 공정 등 실제로 자동화 된 장비를 사용하는 공정은 수작업으로 수행하는 다른 공정들에 비해 작업효율(Working)이 높게 나타났다. 이는 현재 장비 운용을 효율적으로 하고 있다는 것을 의미하며, 다른 공정들의 수작업 형태를 자동화하면 공정 전체에 대해 보다 효율적인 생산 라인이 구축될 수 있다는 가능성을 보여준다.

시뮬레이션을 통해 분석한 대상 유과 제조 공정은 전반적으로 제조 라인에 대한 공정 밸런스가 맞지 않아 작업대기비율(Waiting)이 높고 작업효율(Working)이 떨어지는 것으로 판단된다. 특히 검사공정, 조청 및 고명 도포 공정의 경우 전 공정인 튀김공정이 필수적으로 일정시간 작업을 수행해야 하기 때문에 상대적으로 작업시간이 짧아져 작업효율(Working)이 저조하게 나타난다. 이와 같이 공정의 작업시간에 대한 밸런스가 맞지 않는 공정에 대해서는 이전 공정의 장비증설, 현 공정의 라인길이 조절을 통해 공정시간에 대한 밸런스를 확보할 필요가 있으며, 이는 전체적인 작업효율을 높이고 생산량을 확대시켜 제조 공정의 생산성을 향상시킬 수 있다.

#### 4. 결론 및 제언

농민들의 농식품 가공 사업의 창업 요구가 증대됨에 따라 각 지역에서는 이를 지원하고, 필요한 기술 및 제조 방법을 교육하는 지원센터의 설

립을 추진하고 있다. 이에 따라 농식품 가공 사업장의 효율적인 운영에 대한 필요성이 증대되고 있어 숙련된 전문가에 의한 최적 제조 프로세스가 제안되고 있으나 이는 정성적인 결과로 신뢰성이 낮고, 제안된 개선안에 대한 검증을 위해 시간적, 경제적 비용의 소모가 크다. 따라서 최근에는 시뮬레이션 기법을 이용하여 개선안을 도출하고 이를 검증하는 연구가 진행되고 있다. 시뮬레이션 기법은 실제 시스템을 가상의 모델로 구현함으로써 실제 시스템에서 발생하는 현상을 이해하고 운영하는 데 필요한 다양한 대안을 수립할 수 있다(조규성 & 이승훈, 2011).

본 연구에서는 이러한 시뮬레이션 기법의 장점을 활용하여 A함과 제조업체의 유과 제조 공정을 Plant Simulation 소프트웨어를 이용하여 모델링 하고 현재 제조 환경을 분석하였다. 그 결과 수세, 분쇄, 편치, 성형 밀가루제거 공정이 상대적으로 작업효율이 떨어지는 것으로 파악됐다. 이는 각 공정 간의 작업 소요시간 차이가 원인으로 사료되며, 다른 공정에 비해 작업 소요시간이 긴 공정은 장비나 작업자수를 증가시켜 작업시간의 밸런스를 확보하면 문제가 감소할 것으로 예상된다. 이러한 분석 결과는 향후 제조 환경 개선안에 대한 생산량 예측 및 최적 공정 설계를 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 또한 시뮬레이션 기법을 농촌의 소규모 가공 사업장에 적용할 수 있는 가능성을 확보하여, 향후 효율적으로 제조 환경을 개선할 수 있도록 하며, 이는 농산물 가공사업의 경쟁력 및 경제성 확보로 이어지리라 기대된다.

■ 참고 문헌 ■

- 김사균, 이두원, & 최영찬. (2006). 농업경영비즈니스 과정을 통한 우수농업경영체 육성방안. *한국농촌지도학회지*, 13(2), 277-286.
- 김원경. (2003). 생산성 향상을 위한 자동차 도장공정 시뮬레이션. *대한설비관리학회지*, 8(1), 171-183.
- 문덕희, & 장구길. (2001). 베어링 제조공정 용량설계를 위한 시뮬레이션 모델. *한국시뮬레이션학회 2001 춘계학술발표대회 논문집* (2001.5), 20-24.
- 박헌동, 오상현, 문정훈, & 최영찬. (2009). 농산물 전자상거래의 효과분석을 위한 프레임워크 개발 및 실증연구. *농촌지도와 개발*, 16(4), 913-938.
- 이강걸, 강형석, & 노상도. (2008). 자동차가상생산기술적용(VI): 디지털가상공장을 이용한 조립공장 자재배치 및 검토. *IE Interfaces*, 21(1), 131-140.
- 이민수, & 최영찬. (2009). 머신러닝을 활용한 모돈의 생산성 예측모델. *농촌지도와 개발*, 16(4), 939-965.
- 이병기, & 권오박. (2007). 한국 농촌개발정책 체제 변화와 대응과제. *농촌지도와 개발*, 14(2), 437-469.
- 조규성, & 이승훈. (2010). 시뮬레이션 기법을 통한 자동차용 열 수축 튜브 생산공정모델 개발. *한국시뮬레이션학회논문지*, 19(4), 21-29.
- 채종인, & 박양병. (2010). 시뮬레이션 모델을 이용한 K회사 반도체 패키지 공정의 생산량 증가를 위한 연구. *한국시뮬레이션학회논문지*, 19(1), 1-11.
- 한용희. (2009). 자동차 도장 공정의 셋업 감소 방법 모델링 및 시뮬레이션 분석. *한국시뮬레이션학회논문지*, 18(3), 147-154.
- Adolfsson, J., Ng A., Olofsgard P., Moore P., Pu J. S., & Wong, C. B. (2002). Design and simulation of component-based manufacturing machine systems. *Mechatronics*, 12, 1239-1258.
- F. Zhang, & A. K. S. Jardine. (1998). Optimal maintenance model with minimal repair, periodic overhaul and complete renewal. *IIE Transactions*, 30(12), 1109-1119.
- Gupta, A. K., & Sivakumar, A. I. (2007). Controlling Delivery Performance in Semiconductor Manufacturing Using Look Ahead Batching. *International Journal of Production Research*, 45(3), 591-613.

- Hitomi, K. (2007). A Comment on Group Scheduling in Flexible Flowshop. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 297-306.
- J. H. Seo, & D. S. Bai. (2004). An optimal maintenance policy for a system under periodic overhaul. *Mathematical and Computer Modeling*, 39(4-5), 373-380.
- Kelton, W., Sadowski, R., & Sturrock, D. (2007). *Simulation with Arena*, 4th ed. McGraw-Hill, New York, USA.
- Siemens. (2011). Plant Simulation. Siemens. Available at: [www.siemens.com](http://www.siemens.com). Accessed 10 August 2011.



논문투고일: 2011. 10. 17  
1차수정일: 2011. 11. 20  
2차수정일: 2011. 12. 18  
게재확정일: 2011. 12. 18