

# 시물레이션 모델 구축과 분석을 통한 솔레노이드 생산라인의 최적 버퍼 할당

김영진<sup>1</sup> · 노상도<sup>2\*</sup> · 문정환<sup>3</sup>

## Optimal buffer allocation of the solenoid production line using simulation

Young-Jin Kim · Sang Do Noh · Jung H. Mun

### ABSTRACT

The purpose of this study is the use of simulation modelling to enhance productivity. In this paper, the optimal buffer allocation of small and medium size industries which produce solenoid valves for automobiles, is performed using simulations. The simulation model was developed under considerations of production layout, process & operation, process time, total work time, WIP, utilization, failure rate, and operation efficiency as inputs, and it was validated with careful comparisons between real behaviors and simulation 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 large buffer could decrease productivity, the solenoid production line in this paper has been maintained large buffer. It is because reducing the size of buffer could result in the termination of the process. We determined the optimal number of buffers 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 solenoid valves, but also for other production lines with various purposes, especially, small and medium size industries.

**Key words** : Buffer allocation, WIP(Work-In-Process), Productivity

### 요 약

본 논문의 목적은 생산성 향상을 위한 시물레이션 모델의 구축과 활용으로, 자동차 솔레노이드 밸브를 생산하는 국내의 한 중소기업을 대상으로 최적 버퍼 할당 문제를 시물레이션을 통하여 해결하였다. 이를 위하여 생산 라인을 구성하고 있는 주요 요소나 운영 정책 등이 변화했을 때 이러한 변화가 생산량에 어떠한 영향을 주는지를 확인 할 수 있도록 생산 라인의 공정과 작업 내용 및 순서, 공정 수행시간, 총 근무 시간, 가동률, 작업 효율, 불량률, 재공재고 등을 주요 입력 변수로 설정하였으며, 실제 생산라인 운영 결과와의 비교를 통해 이를 검증하였다. 본 논문에서 대상으로 한 솔레노이드 생산라인은 공정 중의 버퍼가 지나치게 많은 상황이지만, 버퍼를 줄이게 되면 결품 발생으로 생산이 중단되는 경우가 발생하기 때문에 많은 양의 버퍼를 유지하고 있었다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여, 시물레이션 모델을 구성, 검증하고 이를 활용하여 생산에 영향을 미치지 않는 최적의 버퍼 값을 결정 하였다. 본 논문에서 구축된 시물레이션 모델은 생산 라인에 영향을 미치는 많은 요소들을 입력 요소로 고려할 수 있도록 구성되었으며, 최적 버퍼 할당 뿐 아니라, 다양한 목적의 분석에 활용이 가능하다.

**주요어** : 버퍼할당, 재공재고, 생산성

\* 이 연구는 산업자립부 출연금으로 수행한 국제 IMS 프로젝트(No.05001) “Digital Factory for Human Oriented Production System”의 연구 결과입니다.

2008년 9월 11일 접수, 2008년 11월 25일 채택

<sup>1)</sup> 성균관대학교 대학원 생명공학과

<sup>2)</sup> 성균관대학교 공과대학 시스템경영공학과

<sup>3)</sup> 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과

주 저 자 : 김영진

교신저자 : 노상도

E-mail; sdnoh@skku.edu

## 1. 서 론

생산라인의 생산성을 향상시켜 높은 이익을 창출하는 것은 제조 기업의 궁극적인 목표이며, 이를 위해서는 양질의 제품을 더 낮은 가격에 생산하는 것이 중요하고(Han 2002), 동일 생산 라인을 어떻게 구성하느냐에 따라 라인의 생산성이 달라진다(Buzacott 1967). 또한 생산 라인의 효율은 생산 라인을 구성하고 있는 생산 장비의 고장이나 생산 속도의 불일치 또는 잘못된 생산 계획에 의해 저하될 수 있다(Hong 1992; Altiok, 1983).

전통적으로 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 주로 사용되는 방법은 시행착오(trial and error) 방법과 시물레이션을 이용한 방법이라고 할 수 있다(Kelton 2005). 시행착오 방법은 생산 라인의 다양한 요소를 직접 변경시켜 보는 방법으로 많은 시간과 비용이 소요되는 문제점을 가지고 있다. 반면에 시물레이션을 이용한 방법은 다양한 시나리오를 상대적으로 매우 적은 비용과 시간으로 시물레이션 플랫폼 위에서 실현 시켜 볼 수 있는 장점이 있으며(Spedding 2001), 실제로 시물레이션을 통한 검증 후에 생산라인을 변화시켜 실수를 줄이고 낭비를 줄여 생산성을 향상시킨 사례들이 다수 발표되고 있다(Boyd 1998).

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

시물레이션 방법을 통한 생산성 향상을 위해서는 생산성에 영향을 끼치는 변수들을 정확히 설정할 필요가 있다. Park(2002)은 생산성에 영향을 끼치는 다양한 요소들을 설정하였으며, 표 1은 Park에 의해 설정된 요소들 중 본

표 1. 생산성에 영향을 미치는 요소

작업 공정 순서 (Work method)	공정 시간 (Cycle time)
재공 재고 (Inventory)	생산량 (Amount of production)
작업 효율 (Labor productivity)	불량률 (External failure)
근무 시간 (Work time)	가동률 (Utilization)

논문의 연구 대상인 솔레노이드 생산라인에 영향을 끼치는 요소들을 추출한 결과를 보여준다. 근무 시간과 가동률은 Park의 연구에 나타나 있지 않지만 시물레이션 모델에서 근무 시간과 가동률이 중요한 요소로 작용하므로 본 연구에서 추가하였다. 이상의 변수들은 모두 유기적으로 연결되어 있어 하나의 변수가 변경되면 그 외의 변수들도 영향을 받게 된다(Park 2002).

시물레이션을 통한 생산성 향상에 대한 대부분의 기존 연구들은 생산 라인을 개선하고 평가하기 위한 제한된 시물레이션 모델을 구성, 활용하였기 때문에 특정 변수를 변화시키면서 다른 변수들을 제약조건으로 두고 생산성 향상을 위한 방안을 찾는 제약점이 있으며, 목적인 문제점 이외에 다른 문제점에 대한 검토가 필요한 경우는 모델을 다시 구성해야 하는 문제가 있다. 시물레이션의 재사용성의 한계로 인한 이러한 추가적인 모델링은 시간과 비용 면에서 부담이 되며, 모델을 재구성하지 않고 특정 변수만을 변화시켜 적용하는 시물레이션 모델은 목적인 변수들을 변화시켰을 때 다른 요소에 미칠 영향을 예측할 수 없기 때문에 실제 활용에 어려움이 있다.

본 논문에서는 생산성에 영향을 미치는 요소들을 고려하여 장비의 증가 및 감소, 공정 순서 변경, 장비 가동시간 변화, 고성능 장비로의 교체, 불량률 개선, 작업자 근무 시간 변경 등과 같은 다양한 경우에 적용이 가능한 생산 라인의 시물레이션 모델을 개발하였다. 구축된 모델의 요소들은 유기적으로 연결되어 있어 특정 변수의 변화에 의한 다른 부분의 변화도 예측할 수 있어 실제 적용에 매우 유리하다. 본 논문에서는 이러한 시물레이션 모델을 국내 한 중소기업의 솔레노이드 생산 라인에 적용하여 생산성에 영향을 끼치는 요소로 공정순서, 공정 방법, 공정 시간, 재공재고, 불량률, 가동률, 근무시간을 입력 요소로 갖는 시물레이션 모델을 개발하고 적용, 검증하였다. 구축된 시물레이션 모델을 이용하여 대상 기업에서 생산성 향상을 위해 가장 큰 문제로 지적되고 있는 버퍼 할당 문제를 효과적으로 해결하였다.

## 2. 적용 방법

본 연구에서는 다음과 같은 단계에 따라 시뮬레이션 모델을 구축하고 적용하는 방법을 사용하였다.

### 1) 대상 시스템의 분석

현재 생산 라인을 분석하여 생산성에 영향을 미치는 요소를 분석한다.

### 2) 시뮬레이션 모델 완성

생산성에 영향을 미치는 모든 요소들을 입력 요소로 갖는 시뮬레이션 모델을 완성하여 실제 생산량과 시뮬레이션 생산량과의 비교를 통해 검증한다.

### 3) 문제점 분석

현재 생산 라인의 생산성에 영향을 끼치는 문제점을 현장 작업자, 관리자 등과의 협의와 관련 자료 등을 통해 분석한다.

### 4) 해결 방안 제시

분석된 문제점들의 해결을 위한 다수의 대안들을 도출하고, 시뮬레이션 모델을 이용하여 이들을 실제 생산 라인에 적용시켰을 때의 개선 효과를 정량적으로 도출, 분석한다.

### 5) 최적 대안 제시

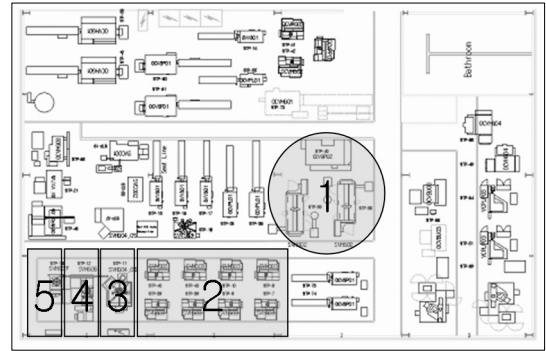
대안들에 대한 분석 결과를 토대로 최적의 대안을 제시 한다.

## 2.1 대상시스템

### 2.1.1 솔레노이드 생산 라인

본 논문의 연구 대상은 자동차 부품인 솔레노이드 밸브를 생산하는 국내의 중소기업 A사이며, 이를 대상으로 2006년 11월부터 2007년 10월까지 조사하여 시뮬레이션 모델 구성과 분석에 필요한 자료를 수집하였다.

그림 1은 A사 공장의 내부 모습을 나타내며 그림 안에 표시된 1부분에서 5부분까지는 솔레노이드를 생산하기 위한 세부 공정을 나타낸다. 그림 2는 각 공정 단계를 상세하게 나타낸 것으로, 1번과 2번의 정삭과 흠삭은 정밀 가공과 흠 가공을 하는 과정이며, 3번은 드릴로 구멍을 내는 작업, 4번과 5번은 전해와 저압 세척으로 불순물을 제거하는 공정이다. 이러한 5가지 공정을 거쳐 최종적으로 솔레노이드 밸브가 완성이 된다. 표 2는 월별 재고량을 나타내며, 이는 실제 생산 라인의 재고량을 나타낸다. 11월-10월까지 1년간의 월별 재공재고량(WIP, Work-In-Process)이 일정하지 않고 월별로 큰 차이(최고 597,000개)를 보이고 있는 것을 확인 할 수 있다.



주) 1. 정삭, 2. 흠삭, 3. 드릴, 4. 전해, 5. 저압세척

그림 1. 솔레노이드 생산 라인

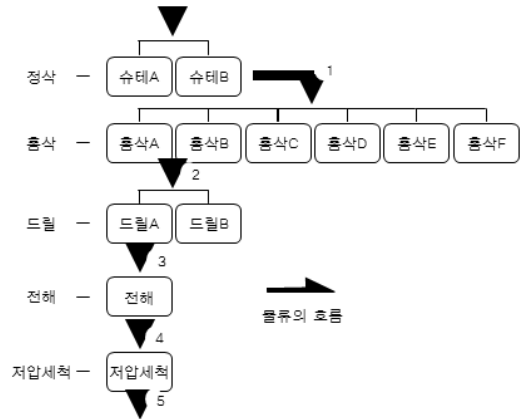


그림 2. 솔레노이드 공정 단계

표 2. 솔레노이드 월별 재공재고량(단위,1000)

공정 (월)	정삭	흠삭	드릴	전해	저압 세척	합계
11	116	71	110	14	235	546
12	24	41	30	53	148	296
1	25	5	43	8	30	459
2	5	1	20	7	35	454
3	30	15	47	25	42	764
4	42	17	61	33	31	764
5	4	27	71	22	43	167
6	16	37	71	39	56	219
7	34	41	75	37	78	265
8	6	31	67	37	92	233
9	35	55	94	54	130	368
10	295	43	74	40	231	683

현재 A사의 근무는 24시간 2교대로 아래 표 3과 같이 월요일부터 금요일은 24시간, 토요일은 9시간, 일요일은 휴무이다. 점심시간을 포함한 휴지 시간은 표 4와 같다. 주간, 야간 모두 2시간 근무 후 10분간 쉬도록 운영하고 있으며 식사 시간은 1시간이다.

표 3. 작업자 근무 계획 시간

교대	시작	마침	월~금	토	일
주간	08:30	17:30	근무	근무	휴무
	17:30	20:30	근무	휴무	휴무
야간	20:30	08:30	근무	휴무	휴무

표 4. 휴지 시간

교대	시작 시간	마침 시간	쉬는 시간
주간	08:30	20:30	10:30~10:40
			12:30~13:30(식사)
			15:30~15:40
			17:30~18:00(식사)
야간	20:30	08:30	22:30~22:40
			24:30~24:40
			02:30~04:40
			06:30~07:30(식사)

## 2.2 시뮬레이션 모델

### 2.2.1 시뮬레이션 모델을 위한 전처리

생산 일보 등 생산운영, 실적에 대한 자료를 수집, 전처리하여 시뮬레이션 모델 구성을 위한 데이터를 결정하였다. 그림 2의 생산 공정 구성과 장비, 표 2의 공정재고량, 표 3과 표 4의 계획 근무 시간과 실제 근무 시간 등이 입력요소로 들어가고, 표 5의 공정시간, 식 1과 식 2의 작업 효율(%)과 가동률(%)을 시뮬레이션 모델에 맞도록 구성, 반영하였다. 공정 시간은 장비가 갖고 있는 스펙을 나타낸다. 하지만 이러한 공정 시간이 항상 일정한 값을 나타내지는 않는다. 즉 공구의 교체나 결품, 병목, 장비를 다루는 인원의 부족과 같은 이유로 인하여 실제적으로 더 많은 시간이 소요 되고 있다. 이러한 항목들을 매일 조사하여 시뮬레이션에 입력하였다. 그리고 불량률은 발생하는 양품 대비 불량품의 비율을 입력하였다.

이러한 모든 요소들은 시뮬레이션 모델의 입력 값으로 반영되어 현재 생산 라인을 컴퓨터 시뮬레이션으로 구현하는데 필수적으로 활용된다.

표 5. 작업 공정 및 공정 시간

공정	세부 공정	공정 시간(초)	단위 공정 시간(초)
정삭	슈테A 슈테B	7	3.5
흡삭	흡삭A 흡삭B 흡삭C 흡삭D 흡삭E 흡삭F	30	5
드릴	드릴A 드릴B	7,5	3.75
전해	전해	6.2	6.2
저압세척	저압세척	7.4	7.4

주) 단위 공정 시간=공정 시간/세부 공정 수

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

$$\text{가동률}(\%) = \frac{\text{실 가동시간}}{\text{전체 근무 시간}} \times 100 \quad \text{식 (2)}$$

### 2.2.2 시뮬레이션 모델 완성 및 검증

전처리가 완료된 1년간의 실적 데이터를 바탕으로 Siemens PLM Software사의 eM-Plant를 이용하여 현재 생산 라인에 대한 시뮬레이션 모델을 구성하였다. eM-Plant는 생산시스템의 설계 및 운영에 사용되는 소프트웨어로 빠르고 정확하게 생산 라인, 공장, 설비 등의 설계 및 최적화를 도와주는 소프트웨어다(Tecnomatix 2007).

그림 3은 본 논문에서 구현한 시뮬레이션 모델의 구성 개념을 보여준다. 생산 라인을 구성하는 정삭, 흡삭, 드릴, 저압세척의 각각의 장비들에 공정시간, 가동시간, 가동률, 작업 효율, 불량률을 입력하여 독립적인 객체를 완성한 후 각 객체 간의 구성 관계, 즉 공정 순서와 근무 시간을 입력하여 전체적인 시뮬레이션 모델을 완성한다. 따라서 완성된 모델은 각각의 객체를 증가 또는 감소시키고 순서를 변화 시키는 등 다양한 변경 상황의 고려가 가능한 시뮬레이션 모델이 된다. 그림 4는 실제로 구현된 시뮬레이션 모델과 이를 운영하는 과정을 보여준다.

표 6은 완성된 시뮬레이션 모델의 정확도를 검증하기 위해 실제 생산량과 시뮬레이션을 이용하여 1년 동안 발생한 생산량을 비교한 것이다. 분석시간은 2006년 11월 1일 오전 8시부터 2007년 10월 31일 오전 8시까지이다. 비교 결과 1년 동안의 총 생산량은 99.67%에서 100.25%

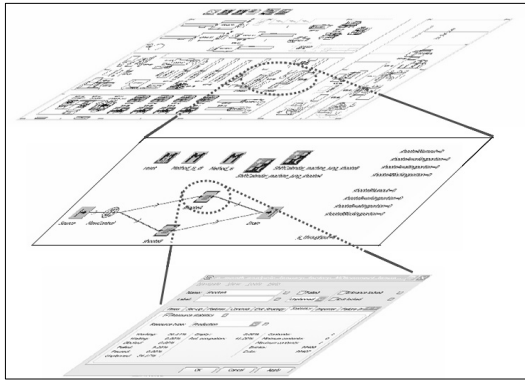


그림 3. 시뮬레이션 모델의 구성 개념

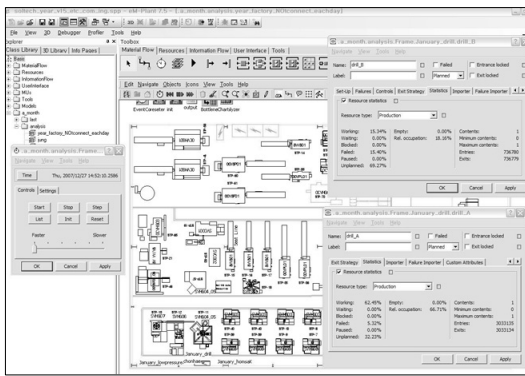


그림 4. 구현된 시뮬레이션 모델과 운영 과정

표 6. 실제 생산량과 시뮬레이션 생산량의 비교

	실생산량(개)	시뮬레이션 생산량(개)	비율(%)
정삭	1,667,237	1,668,177	99.94
	1,738,253	1,739,097	99.95
	580,752	581,608	99.85
흠삭	576,333	577,368	99.82
	579,031	579,499	99.92
	600,955	600,294	100.11
	567,205	567,956	99.87
	561,859	560,464	100.25
드릴	2,750,169	2,756,956	99.75
	609,765	608,851	100.15
전해	3,451,951	3,463,418	99.67
저압 세척	3,001,391	3,000,536	100.03

의 범위 안에서 분포하였으며 Pearson 상관계수 0.999997 (P<0.01)로 시뮬레이션의 결과가 실제 생산량에 거의 가깝게 분석되고 있음을 알 수 있다.

검증된 시뮬레이션 모델의 입력 요소(공정 순서, 근무 시간, 작업 순서, 공정 시간, 재공재고량, 가동률, 불량률 등)를 변화시켜 시뮬레이션을 수행함으로써, 생산성이 어떻게 변화되는지를 예측할 수 있으며, 이는 대안 적용 시 실제 생산 라인에의 실적 변화를 예측 할 수 있음을 의미하는 것이다. 또한 이산 사건 시뮬레이션으로 진행이 되는 본 모델은 편차를 가지게 되며, 검증을 위한 시뮬레이션 모델은 몇 회의 실험으로 만족한 값을 결정할 수 있는 지 결정해야 한다. 본 논문에서는 시뮬레이션 생산량과 실제 생산량의 절대 값 차이를 허용오차로 하고, 실제 생산량의 5% 이내의 값이면 시뮬레이션을 통한 생산량은 실제 생산량과 같은 값으로 결정 하였다(Hwang, 1987).

표 7은 1월 동안의 실제 생산량과 시뮬레이션 생산량을 나타낸다. 표 7에서 알 수 있는 바와 같이 실제 생산량과 시뮬레이션을 통한 생산량과의 차가 5%이내에 포함되는 것을 알 수 있다. 이로서 허용오차가 결정 되면 아래 식3을 이용하여 반복 횟수를 결정한다.

$$N = \frac{z_{0.95}^2 * \sigma^2}{I^2} \quad \text{식 (3)}$$

N=반복횟수

Z<sub>0.95</sub>=신뢰구간 95% 값 (= 1.96으로 함)

σ=N<sub>0</sub> 횟수 실행한 생산량의 표준편차

I=허용오차

식 3을 통해서 결정된 반복횟수 만큼 시뮬레이션을 반

표 7. 1월 허용오차 결정

실제 생산량	시뮬레이션 생산량	I <sub>0</sub>	±5%
99,496	99,487	9	4,974.80
101,878	101,932	54	5,093.90
33,670	33,666	4	1,683.50
34,227	34,226	1	1,711.35
32,226	32,234	8	1,611.30
35,423	35,470	47	1,771.15
32,931	32,924	7	1,646.55
33,933	33,956	23	1,696.65
157,673	157,685	12	7,883.65
5,850	5,840	10	292.50
175,696	175,658	38	8,784.80
155,236	155,219	17	7,761.80

표 8. 반복 횟수 결정

정 삭	반복횟수(N)	1	2	3	4	5
	검증값(Nr)	0	0	0	0	0
흡 삭	반복횟수(N)	6	7	8	9	10
	검증값(Nr)	10.092	9.1428	8.5403	8.1195	7.8126
드 릴	반복횟수(N)	10	11	12	13	14
	검증값(Nr)	12.128	11.767	11.483	11.255	11.059
전 해	반복횟수(N)	6	7	8	9	10
	검증값(Nr)	10.261	9.2954	8.6829	8.2551	7.9430
저 압	반복횟수(N)	2	3	4	5	6
	검증값(Nr)	51.521	5.9089	3.2312	2.4592	2.1094

복 실행, 나온 결과 값의 표준편차를 결정하고 정해진 값  
을 이용하여 식 4에 대입하여 검증된 반복 횟수를 구한다.

$$N_r = \frac{t(0.025, N-1)^2 * \sigma^2}{I^2} \quad \text{식 (4)}$$

N<sub>r</sub>=검증 반복횟수 (N에서 N ≥ N<sub>r</sub>만족 할 때까지 1  
씩 증가한다.)

σ=표준편차

I=허용오차

여기서  $N_r \leq N$  식 (5)

을 만족하는 N을 반복 횟수로 결정한다.

표 8은 식3과 식4를 통해 얻어진 반복 횟수를 나타내  
며 이중 가장 큰 값인 12회를 본 모델의 반복 값으로 결  
정하였다.

### 2.3 생산 라인의 문제점

완성된 시뮬레이션 모델을 이용하여 어떠한 입력 요소  
를 변화시켜 현재 생산 라인의 생산성을 높일 것인가를  
결정하기 위해서는, 현 생산 라인의 문제점을 파악하는  
것이 선행되어야 한다. 이를 위하여 생산에 직접 참여하  
는 생산직 작업자, 관리자 그리고 생산 실적을 나타내는  
A사의 생산 일보를 기준으로 하여 문제점을 분석하였다.  
분석 결과 현재 생산 라인의 장비 개수나 효율, 공정 순서  
등의 측면에서는 별다른 문제를 보이지 않았지만, 재공재  
고의 필요이상으로 많다는 문제점이 도출되었다. 매일 측  
정한 재공재고량을 살펴보면 A사는 그림 5에서와 같이  
생산량의 증감에 따라 재공재고량 역시 증감하는 패턴을  
확인할 수 있으며, 이는 재공재고의 부족으로 인하여 생  
산에 차질이 생기지 않도록 하기 위해, 관리자가 이를 추

종하는 단순한 조치로 취하여 생산량의 증가와 감소에 따  
라 재공재고량도 증가 및 감소시키고 있음을 보이는 것이  
다. 그 결과 마치 재공재고의 결정이 계획성 있게 진행 되  
고 있는 것처럼 보이지만, 그림 6에서와 같이 생산량 대  
비 재공재고 비율이 일정하지 않으며, 재공재고의 결정이  
일관되지 못하고 있다는 것을 알 수 있다. 특히, 그림 6에  
서 생산량에 따른 재공재고의 비율을 보면, 생산량 대비  
재공재고량의 범위는 작을 때 10% 미만에서 많을 때는  
60% 이상을 보이고 있다. 이는 생산량의 증가 시에는 재  
공재고를 높여야하지만 얼마나 높여야 될지, 그리고 생산  
량 감소에 따른 재공재고의 감소 역시 얼마만큼 감소 시  
켜야 할지에 대한 정확한 규칙이나 데이터가 존재하지 않  
음을 의미한다.

이러한 문제점은 A사 담당자와의 면담 조사를 통해서  
도 확인되었는데, 담당자가 적당량의 재공재고가 얼마인  
지 확신을 갖지 못하여 직관에 의한 판단을 하고 있음이  
애로사항으로 조사되었다. 이러한 문제점은 생산자나 관  
리자 모두 생산 라인에서 필요 이상으로 재공재고가 많이  
존재한다는 것을 인지하고 있지만 생산성에 영향을 끼치  
지 않는 최소한의 버퍼 값을 알지 못하기 때문에 발생하  
는 문제이다. 재공재고는 생산 라인에서 버퍼로 존재하여

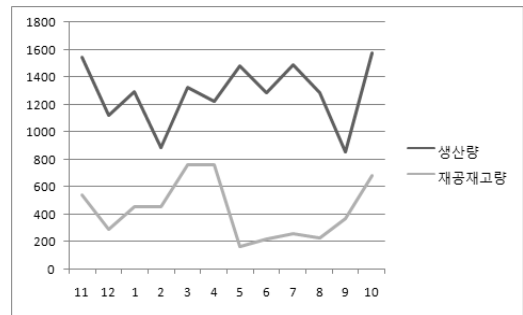


그림 5. 월별 생산량과 재공재고량(단위,1000)

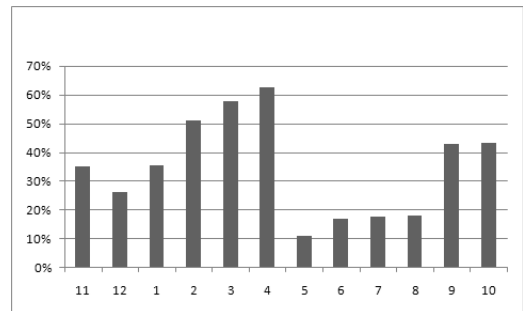


그림 6. 생산량 대비 재공재고 비율(재공재고/생산량\*100)

생산 시스템 내에서 발생하는 혼란을 흡수하고 완충해 주는 역할을 수행하며 결과적으로 생산 계획의 실행성을 높이는 역할을 한다. 버퍼 역할로서의 재공재고는 여분의 재고 확보로 생산율을 높일 수 있는 장점이 있지만, 공간의 점유와 자본의 투자 증가로 인한 소요 비용이 생산 이익을 초과 할 수 있으며, 반면에 버퍼가 너무 적으면 완충 기능을 수행하지 못하게 된다(Seong 2000). 때문에 A사의 생산 방식과 특성에 맞는 최적의 재공재고량을 설정하는 것이 필요하다.

또 다른 하나의 문제는 계획된 근무 시간에 따라 작업이 이루어지지 않는다는 것이다. 표 3과 표 4처럼 정해진 근무 시간과 휴지 시간이 있지만 실제 근무 시간은 표 9와 같이 일률적이지 않다. 표 9는 1년 중 계획 근무가 실천되지 않는 1월의 실제 근무 시간을 나타낸 것으로 13일(토요일)은 추가 작업이 있었고 15일부터 19일까지는 감축 근무를 하고 있었다. 또한 1월 1일, 7일, 14일, 21일은 공휴일임에도 작업이 이뤄지고 있었다. 이러한 변동은 1

표 9. 1월 실제 근무 시간

일	정작		흡작								드릴		전해	저압 세척
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	24	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	0	24	24	
4	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	0	24	24	
5	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	0	24	24	
6	9	24	21	9	9	9	9	12	9	24	0	12	12	
7	0	12	12	0	0	0	0	0	0	12	0	12	12	
8	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	0	24	24	
9	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	0	24	24	
10	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23	0	23	23	
11	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	0	24	24	
12	24	24	24	24	24	20	24	24	24	24	0	22	24	
13	9	9	9	17	17	17	17	17	17	17	0	9	8	
14	0	0	0	16	16	16	16	16	16	16	0	0	0	
15	24	21	14	19	19	19	19	19	19	24	0	24	24	
16	24	22	13	19	19	19	19	19	19	24	0	14	24	
17	24	22	17	22	22	22	22	22	22	24	0	24	24	
18	24	22	20	22	22	22	22	22	22	24	0	18	24	
19	24	22	17	22	22	22	22	22	22	23	0	23	23	
20	9	11	6	8	8	8	8	8	8	8	0	23	8	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	4	8	0	

월 뿐 아니라 모든 달에서 보이고 있었는데 이는 생산 장비의 고장이나 부품의 교체, 불량 발생 등으로 인한 이상 발생으로 계획된 작업이 이뤄지지 못하고 있음을 보여 준다. 이러한 생산 계획의 불규칙성은 더욱 큰 버퍼의 완충 기능을 요구하게 되어 더 많은 재공재고를 필요로 하게 된다. 이상과 같이 A사의 생산 라인은 불규칙적인 생산과 필요 이상의 재공재고를 보유하고 있는 문제점이 있는 것으로 분석되었다.

### 3. 대안제시

제시된 문제점을 해결하기 위해서는 생산성에 영향을 끼치지 않는 최적의 재공재고량을 결정해야 하며, 이를 위해 시물레이션 모델을 이용하여 지체 현상이 일어나는 부분을 조사하였다. 지체 현상의 조사로 각 공정 과정 중에 지체와 대기되는 정도를 시간에 대한 백분율로 나타낼 수 있어 공정별 지체와 대기를 한눈에 볼 수 있다. 분석결과로 나타나는 대기(waiting)란 선행 공정에서 생산된 제품이 다음 공정으로 전달되지 않아 후 공정에서 생산하지 못하는 현상이다. 반대로 지체(blocking)는 선행 공정에서 완성된 제품을 후 공정으로 넘겨주었지만 후 공정이 공정 수행 중에 있어 후 공정이 생산 가능해질 때까지 생산을 멈추고 기다리게 되는 것으로, 주로 버퍼가 부족할 때 발생하게 된다. 본 논문에서는 버퍼의 부적합한 할당으로 인해 발생하는 지체와 대기가 발생하지 않는 최소한의 재공재고량을 시물레이션을 통하여 분석하여 최적 버퍼를 결정, 할당하였으며 계획 근무에 따라 최적 버퍼 값은 크게 변화될 수 있으므로 계획 근무에 따른 최적 버퍼 값 역시 결정하였다. 즉, 시물레이션 모델을 이용하여 다음의 2가지 대안에 대한 시물레이션 결과를 도출하였다.

**대안 1)** 현 상태에서의 최적 버퍼; 최적의 이익을 도출하기 위하여 생산 방식이나 근무 시간을 변경하면 장기적으로 이익이 될 수 있지만 단기적으로 작업자의 부적응과 같은 요인으로 부작용이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 대안 1은 현재 생산 방식을 최대한 고수 하면서 최대의 이익을 창출하기 위한 방법이다. 표 9와 같은 실제 근무시간을 입력한 후 버퍼의 수를 줄여 생산의 대기과 지체가 발생하지 않는 최적의 버퍼의 값을 찾는 것이다.

**대안 2)** 현 생산 방식에서 계획된 근무 시간에 맞춰 근무할 경우의 최적 버퍼; 실제로 정해진 작업 시간에

따라 근무한다면 공정중 발생할 수 있는 버퍼를 극소화 할 수 있다. 이를 위해 지금껏 그때 상황에 따라 다양하게 적용하였던 생산 시간을 현재 생산 방식에 실제 근무시간이 아닌 계획 근무 시간에 따라 작업을 진행 하였을 때의 최적 버퍼를 찾는다. 버퍼의 수는 계획에 따라 생산할 경우 완충 효과의 요구가 급격히 감소되어 재공재고를 감소시킬 수 있다.

#### 4. 시뮬레이션 결과 분석

##### 4.1 시뮬레이션 결과 분석

실제 생산 근무 시간에 따라 수행한 시뮬레이션에서 각 공정 사이에 존재하는 재공재고를 줄였을 때 생산의 대기와 지체가 발생하지 않는 최소의 재공재고량을 최적 버퍼로 결정하였다(대안 1). 또한 현 생산 라인에 계획된 근무 시간을 적용한 시뮬레이션에서 대기과 지체가 발생하지 않는 최소의 재공재고량을 최적 버퍼로 결정하였다(대안 2). 결정된 버퍼값은 수치해석적 방법 중 이분법을 이용하여 결정하였다. 현재 버퍼값에서 버퍼량을 줄여 나가는 동안 지체와 대기가 발생하지 않는 최소의 버퍼값을 최적 버퍼로 결정한 것이다.

표 10은 시뮬레이션 모델에 대안을 적용시킨 결과로서, 2006년 1월 1일부터 1월 21일 까지 21일 동안의 현재 버

표 10. 최적 버퍼 할당 값

	현재버퍼값 (개)	대안 1의 버퍼값 (개)	대안 2의 버퍼값 (개)
정삭	25,058	6,420	17
		5,113	7
흡삭	5,380	2,146	5
		2,266	5
		1,582	4
		2,778	5
		1,821	1
드릴	43,370	2,122	3
		6,179	17
전해	8,258	0	0
		4,779	45
저압세척	30,488	0	0
총 합	112,54	35,206	109
생산량	155,554	147,082	186,303

퍼 값과 대안 1~2에 대한 최적 버퍼 값을 나타낸다. 2006년 1월은 수집된 데이터 중 계획 근무가 가장 잘 이루어지지 않고 있어 최적 버퍼의 할당 결과를 가장 잘 비교할 수 있다. 표 10의 대안 1의 결과를 보면 현재 정삭의 경우 슈테 A, B 공정 통틀어 25,058개를 보유해 11,533개보다 13,525개를 더 갖고 있다. 필요 이상의 재공재고를 갖고 있는 것은 생산성을 저하시키는 요소가 된다. 흡삭의 6개의 장비는 필요 버퍼 보다 적은 값 즉 7,335개의 버퍼가 부족한 상태이다. 이는 재공재고의 부족으로 생산 라인이 멈춰 생산성을 저하시키는 요인이 된다. 드릴 전해 저압 세척 공정에서는 모두 필요 이상으로 많은 버퍼를 갖고 있어 시뮬레이션 결과 77,348 (68.7%)개의 버퍼를 줄여 재공재고를 감소시킬 수 있다. 반면 생산량의 결과 8,472개(5.4%)감소하여 생산성이 감소된 것처럼 보인다. 하지만 생산성은 재공재고 증감에 따른 이익과 생산량에 따른 이익을 감안해서 결정해야 한다(Seong 2000). 즉 제품 하나당 이익이 1,000원 일 때 재고 유지비용이 109원 이하 라면 현재 상태가 생산성이 높아 현 상태를 유지하는 것이 이익이고 109원 이상의 재고 유지비용이 든다면 할당된 버퍼 값으로 재공재고를 유지하는 것이 생산성은 낮지만 더 높은 이익을 창출 해 준다. 현 상태에서 재고유지 비용을 감소하여 이익을 실현하는 방법과 생산량이 일부 감소되지만 재공재고량을 감소시켜 경비를 감소시키는 두 가지 방법을 제시할 수 있다.

대안 2의 결과는 계획근무에 맞춰 이상적인 근무에 따른 최적 버퍼 값을 나타낸다. 본 생산 라인이 계획 근무에 따라 근무를 한다면 버퍼를 99.9% 줄일 수 있게 된다. 동시에 생산량은 30,749(19%)개 증가 하여 더 높은 생산성을 보여 주고 있다. 추가적인 변화 없이 근무시간에 따른 근무만으로도 생산성을 향상시킬 수 있다.

#### 5. 결 론

본 연구는 자동차의 솔레노이드 밸브를 생산하는 국내의 한 중소 제조 기업을 대상으로, 생산성을 향상시키기 위하여 생산성에 영향을 주는 요소들이 포함된 시뮬레이션 모델을 완성한 후, 이를 이용하여 최적 버퍼를 할당하였다. 또한 이를 이용하여 장비의 증가 및 감소, 공정 순서 변경, 장비 가동시간 변화, 고 성능 장비로의 변경, 불량률 개선, 작업자 근무 시간 변화등과 같은 다양한 목적으로 적용이 가능하며, 여러 변화에 따라 발생하는 복합적 결과를 확인할 수 있는 활용도가 높은 시뮬레이션 모델을 구축, 활용하였다.



본 연구에서 사용된 방법은 사례연구로 중소 제조 기업의 버퍼 할당에만 적용하였지만 완성된 시뮬레이션 모델은 버퍼 값 외에 생산량과 밀접한 관련이 있는 주요 입력 값들로 이루어져 있어 입력요소 변화에 따른 생산량의 변화를 실시간으로 확인 할 수 있는 장점이 있다. 즉 생산 장비의 추가에 따른 생산량을 시뮬레이션 모델을 이용하여 예측 할 수 있고, 예측된 결과와 장비 유지비용의 비교를 통해 생산성을 파악하여 장비를 추가 할 것인가를 시간과 경비의 소요 없이 결정할 수 있다. 근무 교대에 따른 결과, 생산 효율에 따른 결과, 불량률에 따른 결과 등도 시뮬레이션을 통한 분석이 가능하다. 또한 이러한 변화 요소들을 실제 공정에 바로 적용시키지 않고 시뮬레이션 수행을 통한 검증 후에 변화시켜 실수와 낭비를 줄일 수 있게 되어 생산성을 향상시킬 수 있게 되었다.

## 참 고 문 헌

1. Boyd Lane (1998), Digital factories, Computer Graphics World, 02714159, Vol. 21, No. 5, pp. 45-53.
2. Deok-hyun Seong (1997), A Simulation Model for the Analysis of Newly Constructed Coil Center, The Korean Production And Operations Management Society, Vol. 8, No. 1, pp. 75-88.
3. Deok-hyun Seong (2000), A Study on the Optimal Allocation of Buffers using Tabu Search in a Serial Production Line, The Korean Production And Operations Management Society, Vol. 12, No. 3, pp. 41-60.
4. Hwang (1987), 작업 관리론, 영지 문화사, pp. 302-30.
5. J. A. Buzacott (1967), Automatic Transfer Lines with buffer stocks, The International Journal of Production Research, Vol. 5, No. 3, pp. 183-200.
6. Man-Soo Han (2002), Optimal buffer allocation of serial production lines with quality inspection machines, Computers & Industrial Engineering, 42, pp. 75-89.
7. Tayfur Altioek (1983), The Allocation of Interstage Buffer Capacities in Production Lines, IIE Transactions, Volume 15, No.4, pp. 292-299.
8. T. A. Spedding (2001), System level improvement using discrete event simulation, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 18, No. 1, pp. 84-103.
9. Yushin Hong (1992), The analysis of an unreliable two-machine production line with random processing times, European Journal of Operational Research, 68, pp. 228-235.
10. www.Tecnomatix.com (2007).
11. W. David Kelton (2005) Simulation with Arena Third Edition, McGrawHill.
12. Young Hong Park (2002), The Korea Society For Simulation, Vol. 11, No. 1, pp. 59-70.



**김 영 진** (yj7530@gmail.com)

2006 성균관대학교 바이오메카트로닉스 학사  
2007 성균관대학교 생명공학과 석사  
2007~현재 성균관대학교 생명공학과 박사과정 재학 중

관심분야 : Digital Factory, Simulation modeling, Industrial Safety, Ergonomics



**노 상 도** (sdnoh@skku.edu)

1992 한국과학기술원 기계공학과 학사  
1994 서울대학교 기계설계학과 석사  
1999 서울대학교 기계설계학과 공학박사  
2002~현재 성균관대학교 조교수, 부교수

관심분야 : 생산시스템 모델링 및 분석, Concurrent & Collaborative Engineering, 디지털 가상생산, CAD/CAPP/CAM, PDM/PLM



**문 정 환** (jmun@skku.edu)

1998 The University of Iowa, Department of Mechanical Engineering Ph.D  
2002~현재 성균관대학교 조교수, 부교수  
2005~현재 바이오메카트로닉스 센터 연구 소장

관심분야 : Digital Factory, Ergonomics, Human Modelling, Biomedical Engineering