

시뮬레이션을 이용한 중소 신발생산기업의 생산시스템 개선방안 연구

이경근¹ · 윤원영¹ · 문일경^{1*} · 조형수² · 차병철¹

¹부산대학교 산업공학과 / ²(주)포스트시스

A Study on Improvement of a Production System in Small and Medium Sized Shoes Companies using Simulation

Kyung-Keun Lee¹ · Won-Young Yun¹ · Il-Kyeong Moon¹ · Hyung-Soo Cho² · Byung-Chul Cha¹

¹Department of Industrial Engineering, Pusan National University, Busan, 609-735

²POSTSYS Co., Ltd., Gimhae, Gyeongnam, 621-913

A production system in domestic shoes companies has difficulty in achieving automation and information because of insufficiency of flexibility and standardization. Particularly small and medium sized shoes companies producing by OEM have tendency to chase the given production schedule blindly without considering major factors that may affect the production. Therefore, the production schedules or the process conditions can not be optimally set and are extemporized by the experience in the past. These behaviors cause low productivity and financial loss. To maximize efficiency and productivity of the shoe-making process, we develop a simulation model based on a production system in small and medium sized shoes companies. The model has been developed using ARENA which has been demonstrated to be a powerful tool to simulate various manufacturing systems. Using the simulation model, we find out several problems for the production process, and then suggest several alternatives to improve the system.

Keywords: simulation model, shoes company, production system, productivity, process planning

1. 서론

국내 신발산업은 세계 우수 브랜드의 OEM 생산을 통해 세계 최고수준의 신발 제조기술을 확보하고 있으며 납기준수, 생산 시간, 원자재 공급체계, 적응력 등 경쟁국들에 비해 비가격경쟁력에서는 우위에 있다고 볼 수 있다. 그러나 경쟁국에 비해 임금수준이 높으며, 제조원가에서 인건비가 차지하는 비중이 높아 가격경쟁력에서는 열위에 있다. 게다가 신발산업은 노동집약적 산업임에도 불구하고 3D업종이라는 인식의 확산으로 인력공급이 원활치 못하며 젊은층 기능인력들의 근무기피로 인력의 노령화가 심하다. 또한 중소 신발생산기업의 생산시스템

은 탄력성이 부족하고 재래식 생산개념을 탈피하지 못하여 경쟁력을 잃어 가고 있는 실정이다.

이에 따른 해결책으로 각 공정의 특성을 반영한 반자동화, 물류자동화 등을 통한 전사적인 생산관리 시스템 도입이 절실하다. 하지만 실제로 기업이 이러한 시스템을 도입한 후 이를 평가하려면 막대한 비용과 시간적 손실을 초래하게 된다. 또한 시스템의 설계 및 설비의 운영방법들은 매우 복잡하고 다양하여 사전에 충분한 연구가 선행되지 않으면 설치 및 운영 시에 많은 착오가 발생하여 고가설비의 경우에는 재구입 및 재배치의 어려움이 발생한다. 따라서 현재 보유하고 있는 자원을 효과적으로 운영하여 작업효율을 높이고 생산성을 극대

본 연구는 지역특화기술개발사업 연구비에 의해 지원받은 결과임.

* 연락저자 : 문일경 교수, 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산30번지 부산대학교 산업공학과, Fax : 051-512-7603,

E-mail : ikmoon@pusan.ac.kr

2004년 7월 2일 접수, 2회 수정 후 2005년 1월 20일 게재 확정.

화하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 현 상황에 대한 정확한 분석을 통하여 현재 보유하고 있는 생산설비와 작업자들을 최대한 효율적으로 활용하는 최적의 생산조건을 찾고 이를 적절히 이용하여야만 한다.

본 연구에서는 새로운 투자 없이 공정효율을 향상시키는 최적의 방법들을 찾아내기 위한 신발생산 시뮬레이션 모형을 개발·제시하고자 한다. 즉, 기존의 생산시스템에 기반을 둔 시뮬레이션 모형을 구축한 후 여러 가지 새로운 공정 및 관리운영 시스템 도입에 따른 영향을 시뮬레이션 실험을 통해 최적의 시스템 대안을 찾아내는 것이다. 이러한 시뮬레이션 모형은 새로운 생산시스템에 대한 타당성을 평가하는 데 있어서 신뢰성 있는 근거와 기준을 마련하는 수단으로 이용될 수 있다(Shin *et al.*, 1992; Lim *et al.*, 1998). 최근에는 다양한 제조시스템에 시뮬레이션을 적용한 사례들이 보고되고 있다. Cho *et al.*(1999)은 전자레인지 조립라인의 물류흐름을 개선하기 위한 시뮬레이션을 SIMAN/CINEMA를 사용하여 분석하였다. Lim *et al.*(2002)은 혼합모델 조립라인의 라인균형화 문제를 위해 시뮬레이션을 적용하였다. Moon *et al.*(2003a)은 엔진블록 생산라인의 초기설계안 검증을 위하여 QUEST를 사용한 시뮬레이션 모델을 개발하였다. Moon *et al.*(2003b)은 자동차 도장공장의 생산투입순서를 재조정하는 설비도입을 검토하기 위한 시뮬레이션 모형 PROMODEL을 사용하여 개발하였다.

중소 신발생산기업의 생산시스템 개선을 위한 시뮬레이션 모형개발을 위해서는 먼저, 대상시스템의 현재 공정 및 관리시스템을 분석하고 현 생산시스템의 시뮬레이션 모형을 구축해야 한다. 시뮬레이션 모형이 개발되면, 이를 기반으로 현재의 공정 및 관리시스템에 대한 시뮬레이션 실험을 수행하고, 결과를 분석하여 공정상 혹은 관리상 발생할 수 있는 여러 가지 문제점을 추출한다. 발견된 문제점을 개선할 수 있는 여러 가지 대안을 선정하고, 각 대안에 따른 시뮬레이션 모형을 구축·실험한 후, 결과를 분석하여 최적의 대안을 도출하는 과정을 따르게 된다.

이후 본 연구는 시뮬레이션 모형구축을 위한 대상시스템의 분석을 제2장에서 수행하고, 제3장에서 현 공정의 시뮬레이션 모형을 구축한 후 시뮬레이션 실험과 분석을 수행한다. 제4장에서는 분석을 통해 생성된 여러 가지 대안을 제시하고 시뮬레이션 실험을 통해 최적의 대안을 선정하며, 시뮬레이션 모형을 통한 분석방법에 대한 결론을 제5장에서 제시한다.

2. 대상시스템 분석

2.1 대상시스템 소개

본 연구에서는 부산 녹산공단에 소재한 중소 신발완제품 생산기업인 S업체의 신발생산시스템을 시뮬레이션 분석 대상으로 하였다. OEM 생산을 주로 하는 S업체는 현재 많은 신발업체들이 시행하고 있는 이원 생산체제를 따르고 있는데, 한국공

장과 중국공장으로 나뉘어 생산을 하고 있다. 중국공장에서는 신발의 압피에 해당하는 부분의 제조를 담당하고 한국공장에서는 압피를 제외한 나머지 부분의 제조와 조립을 담당하고 있다. 신발생산에 필요한 모든 부분은 국내 공장에서 관리하며 자재 역시 국내에서 구매하여 중국으로 보내진다. 따라서 중국 공장은 단순한 생산라인의 한 부분으로 해석될 수 있고, 여러 가지 제약과 실제 시뮬레이션 분석의 효용성 때문에 본 연구에서의 시뮬레이션 분석대상은 국내 조립생산공장만으로 국한한다.

2.2 시뮬레이션 대상시스템 분석

2.2.1 공정의 흐름

S업체의 신발조립공정의 구성 및 흐름은 다음과 같다. 최초 압피(upper)가 20개 한 묶음씩 시스템 안에 투입되면 작업자가 본드 칠을 한 후, 컨베이어를 따라 건조대로 투입시킨다. 건조대를 거친 압피에 신골(last)을 끼우고 선부(toe)에 라텍스(latex) 호칠(cementing)을 한 후 다시 건조시킨다. 건조된 신발은 토라스팅(toe lasting)을 하고, 라텍스 칠이 잘 되게 망치로 두드린 다음 베라커버(tongue cover)를 씌우고 신발의 모양을 잘 잡아주기 위해 PVC 고리(PVC clip)를 끼운 후 힐라스팅(heel lasting) 작업을 하게 된다.

힐라스팅된 압피는 건조대로 올라가 일정시간 동안 열로 건조시킨 후 외저(outsole)와 압피가 정확한 위치에 조립될 수 있도록 표시하고, 앞부분 연마(grinding)를 거친 후 게이지(gauge)로 외저부분까지 호칠이 될 수 있도록 펜으로 표시를 한다. 압피와 외저의 접착력을 높이기 위해 다시 연마를 하고 선처리(priming), 호칠, 건조를 거치면서 압피에 접착제를 바른다. 투입된 외저와 결합을 하고 사방압축기로 사이드, 전수를 사방압착한 다음 PVC 고리와 베라커버를 제거하고 같은 치수로 짝을 맞춘 후 냉각기에서 건조시킨다.

건조된 신발에서 라스트를 뽑아내고 안창(insole), 코심(shapping paper)을 넣고, 압피와 외저 사이에서 밀려나온 라텍스를 제거한다. 1차 접착검사서 불합격된 신발은 다시 추가 본드작업과 건조, 열처리를 거쳐서 재검사를 받게 되고, 접착검사서 합격된 신발은 신발끈, 패스카드(pass card), 상표를 부착한 다음 바닥을 닦고 최종 손질과정을 처리하게 된다. 2차 검사서 불합격된 제품은 다시 필요한 재공정을 거치게 되고, 합격된 제품은 박스에 삽입되고 수량을 체크한 다음 포장되어 저 제품창고에 적재된다.

2.2.2 작업시간 및 작업인원

시뮬레이션 분석에 필요한 작업시간은 S업체를 대상으로 직접 조사하여 분석하였다. 조사기간은 약 1개월이었으며 조사 대상 제품은 생산량이 가장 많은 운동화 중 한 제품을 대상으로 하였다.

작업시간 산정을 위해 먼저, 대상작업자를 선정하고 임의

의 관측횟수를 정한 후 예비관측을 수행하여 시간치를 기록하였다. 다음으로 예비관측 데이터를 이용하여 관측횟수가 충분한지를 검토한 후, 결정된 관측횟수에 따라 각 공정을 관측하고 시간치를 기록하였다. 기록된 데이터를 이용하여 각 공정의 작업시간 분포를 결정하였다. 이때 작업시간 분포추정에는 시뮬레이션 소프트웨어인 ARENA 5.0의 입력분석기(Input Analyzer)를 이용하였다.

신발생산에서 각 공정별 공정능력(capacity)은 신발의 종류와 생산계획에 따라 달라진다. 본 연구에서는 작업시간을 측정된 운동화를 대상으로 하였고 1개 생산라인당 일평균 1500족(pair)을 생산하는 것을 기준으로 정하였다. 이에 따른 작업인원은 S업체로부터 자료를 제공받았으며 총 작업인원은 55명이다.

2.2.3 컨베이어 및 건조기

컨베이어는 총 6개의 독립적인 컨베이어들로 구성되며 두 가지 유형(A, B)으로 나누어진다. 유형 A 컨베이어는 처음 압피를 투입한 후 이루어지는 본드 칠 공정과 라스트와 압피를 정렬해주는 공정 간에 위치하며, 속도는 초당 21.95mm이다. 나머지 모든 컨베이어들은 유형 B로서 속도는 초당 12.44mm로 모두 동일하다. 한편 컨베이어의 너비는 유형 B가 유형 A 컨베이어보다 2배의 너비를 가지며, 따라서 용량도 2배가 된다.

신발 완제품 조립 시 중요한 요소 중 하나인 건조를 위한 건조기는 세 가지 유형으로서, 건조시간은 각각 1266초, 660초, 540초가 소요된다.

2.2.4 검사

검사는 두 가지로 분류된다. 첫째 접착 및 손질 검사이다. 접착검사서서 불합격한 신발은 본드 추가 재작업을 거친 후 자연건조장치에 올려지고 열처리를 거친 다음 다시 라인으로 투입된다. 본드 찌꺼기 제거불량 역시 재작업을 거친 후 라인에 재투입된다. 두 번째 검사는 최종검사인데 전반적인 신발의 품질을 평가하고 불량으로 처리된 신발은 해당 공정으로 다시 이동하여 추가 재작업을 거친 후 컨베이어를 따라 다음 공정으로 이동한다. 두 가지 검사에서의 불합격비율과 재작업비율은 <표 1>과 같이 조사되었다.

표 1. 검사공정에서의 불합격 및 재작업비율

검사종류	접착 및 손질검사		최종검사	
	불합격비율	50%		10%
재작업비율	접착	손질	접착	손질
	90%	10%	50%	50%

이상에서 설명된 S업체의 공정특성 및 흐름, 작업시간 및 작업인원, 컨베이어 및 건조기 등의 구체적인 조사·분석 내용

이 <그림 1>에 나타나 있다.

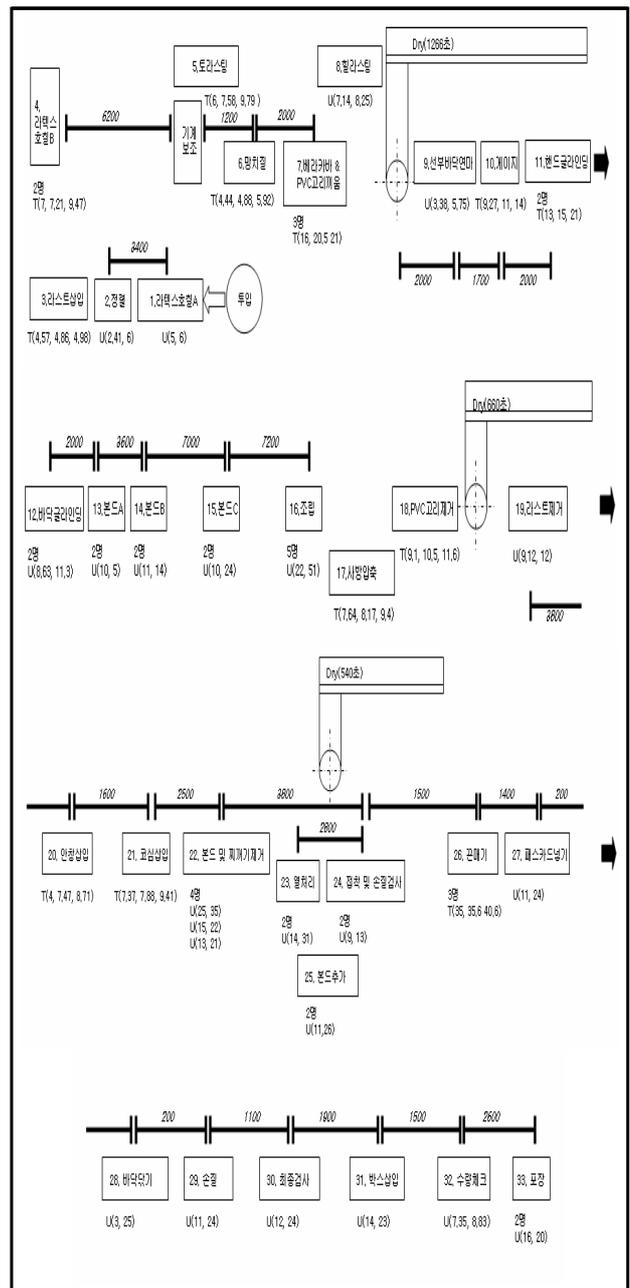


그림 1. S업체 조립공정의 공정특성 (단위: 초).

3. 시뮬레이션 모델링

3.1 시뮬레이션 모형의 가정

대상시스템의 공정은 총 33개의 공정으로 이루어져 있으며, 작업의 흐름이 정해진 작업공정순서에 따라 연속적으로 흐르는 흐름생산방식을 따르고 있다. 이것은 실제 작업공정에서의 일부 요소들은 시뮬레이션 분석 시 효율성이 없다고 판단되어

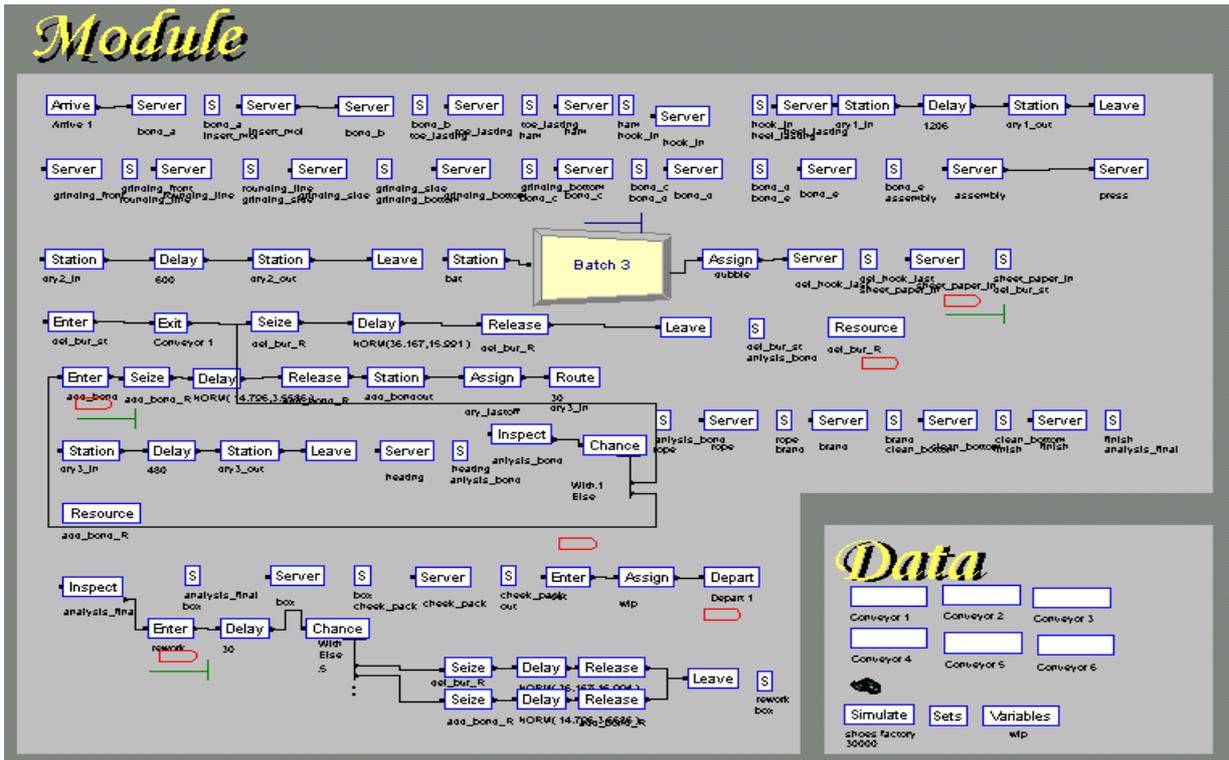


그림 2. 신발조립공정 시뮬레이션 모형의 ARENA 모듈.

다른 공정 및 모듈로 통합한 결과이다. 작업시간은 1일 9시간의 정규 작업시간 중 점심시간 및 휴식시간을 제외한 7시간 30분을 기준으로 하였으며, 총 55명의 작업자가 각 공정별로 고정되어 작업을 수행하였다. 이러한 사항을 제외한 시뮬레이션 모델링의 기본 가정사항들은 아래와 같다.

개체의 도착

신발생산시스템에 신발(개체)은 처음에 중국에서 생산된 갑피형태로 일괄 도착한다. 신발은 일 평균 1500족이 생산되는데, 20족씩 포장되어 투입된다. 그러나 이를 현실대로 1500족이 한꺼번에 도착하게 되는 것으로 모델링하면 개체의 대기시간이 너무 커져서 민감한 결과치를 얻어낼 수가 없다. 따라서 개체는 3분(180초)마다 20족씩 도착한다고 가정하였다.

개체의 컨베이어 차지 공간

신발 1족은 컨베이어 상에서 신발과 신발 사이 여유공간을 포함하여 130mm를 차지한다. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 컨베이어의 너비가 다르므로 1열로 이동하는 컨베이어는 130mm의 공간을 차지하지만 2열로 이동하는 컨베이어에서는 130mm라는 공간에 신발 2족이 차지하게 된다. 그러므로 신발 1족은 2열로 이동하는 컨베이어 상에서는 최소 70mm의 공간이 확보되면 이동할 수 있는 것으로 가정하였다. 그리고 신발은 1족씩 이동하다가 라스트를 빼는 작업에서 짝지어 이동하며, 쌍으로 이동하는 신발은 컨베이어에서 신발 1족이 차지하는 공간의 2배(140mm)를 차지하지만 왼쪽과 오른쪽 사이의 여

유공간 없이 이동하므로 컨베이어 상의 130mm 공간을 차지하여 이동하는 것으로 가정하였다.

초기준비시간(warm-up period)

대상시스템은 하루의 작업시작상태가 전날의 종료상태이기 때문에 안정상태(steady state) 시뮬레이션을 수행해야 한다. 안정상태 시뮬레이션을 수행하기 위한 초기준비시간은 예비 시뮬레이션 실험을 통하여 10,000초로 설정하였다.

3.2 시뮬레이션 실험 및 결과 분석

시뮬레이션 모형은 시뮬레이션 전용언어인 ARENA5.0을 사용하여 구축되었다. 대상시스템에 대해 구축한 시뮬레이션 모형의 ARENA 모듈은 <그림 2>와 같다(Moon et al., 2004).

구축된 신발생산 시뮬레이션 모형을 이용하여 여러 가지 반복실험을 수행하였다. 1회의 시뮬레이션 실험시간은 시뮬레이션이 안정상태에 들어설 때까지의 시간인 초기준비기간(10,000초)을 제외한 이후부터 7시간 30분(27,000초)으로 설정하였으며, 시뮬레이션 반복은 한 달 치 자료에 해당되는 30회로 설정하고 실시하였다.

대상시스템의 현재 공정상태에 대한 시뮬레이션 실험결과를 <표 2>에 정리하여 제시하였다. 결과를 보면 현재 상태의 신발 총 생산량은 평균 1544족/일이며, 각 공정별 가동률이 매우 불균형하다는 것을 알 수 있다.

표 2. 현 공정에 대한 시뮬레이션 결과

공정번호	공정명	작업인원	가동률
1	라텍스 호칠 A	1	0.610
2	라스트와 갑피 정렬	1	0.473
3	라스트 삽입	1	0.533
4	라텍스 호칠 B	2	0.437
5	토라스팅	1	0.858
6	망치질	1	0.569
7	베라커버&PVC 고리 끼움	3	0.711
8	힐라스팅	1	0.858
9	선부 바닥 연마	1	0.507
10	케이지	2	0.635
11	핸드 그라인딩	2	0.926
12	바닥 그라인딩	2	0.554
13	본드 칠 A	2	0.695
14	본드 칠 B	2	0.695
15	본드 칠 C	2	0.947
16	조립	5	0.809
17	사방압축	1	0.938
18	PVC 고리 제거	1	0.578
19	라스트 제거	1	0.586
20	안창 삽입	1	0.376
21	코심 삽입	1	0.449
22	본드 찌꺼기 제거	4	0.753
23	열처리	2	0.553
24	접착 및 손질 검사	2	0.606
25	본드 추가	2	0.475
26	끈 매기	3	0.687
27	패스카드 넣기	1	0.972
28	바닥 닦기	1	0.781
29	손질	1	0.967
30	최종 검사	1	0.858
31	BOX 삽입	1	0.881
32	수량 체크	1	0.448
33	포장	2	0.498
	합계/평균	55	0.682

- 주요공정 및 부속공정 중 가동률이 매우 낮으면서(가동률 < 0.5) 작업인원이 2 이상인 공정은 작업능력을 낮추어 가동률을 높임(0.5 < 가동률 < 1.0)
- 부속공정 중 가동률이 매우 낮은(가동률 < 0.5) 인접작업은 가동률을 일정비율 이상(0.5 < 가동률 < 1.0) 높이기 위해 서로 병합

위와 같은 기준에 의해 설정된 대안은 다음과 같다.

대안 A: ‘안창 삽입’ 및 ‘코심 삽입’ 공정을 ‘안창&코심 삽입’ 공정으로 병합

대안 B: ‘수량 체크’ 및 ‘포장’ 공정을 ‘수량 체크&포장’ 공정으로 병합

대안 C: ‘본드 찌꺼기 제거’ 공정에서 작업인원 1명 감소

대안 D: ‘끈매기’ 공정에서 작업인원 1명 감소

대안들을 통해서 얻고자 하는 것은 현재의 생산능력을 유지하면서 가동률을 향상시키며 최소의 작업인원을 찾아내려는 것이다. 따라서 네 가지 대안들의 최적 조합을 찾아내어야 한다. 그러나 대안들의 모든 조합을 실행하기에는 많은 시간이 소요되므로, 다구치(Taguchi) 기법을 활용하여 시뮬레이션 실험을 계획·설계하였다. 대안들의 조합에 대한 교호효과는 무시할 수 있다고 가정하고 주효과만을 고려하였다. 따라서 직교배열표는 $L_8(2^4)$ 을 사용하였고, 각 대안의 수준에 대한 직교배열표 $L_8(2^4)$ 의 구성 및 실험조합을 <표 3>에 나타내었다. 이때, 각 대안들의 수준은 해당 대안이 실험조합에 포함되었으면 ‘2’로 나타내고, 포함되지 않았으면 ‘1’로 나타내었다.

표 3. 직교배열표 $L_8(2^4)$ 의 구성 및 실험조합

실험번호	반복 특성치				반복 특성치				평균	S/N비
	A	B	C	D	1	2	...	30		
1	1	1	1	1	y_{11}	y_{12}	...	y_{130}	\bar{y}_1	SN_1
2	1	1	1	2	y_{21}	y_{22}	...	y_{230}	\bar{y}_2	SN_2
3	1	2	2	1						
4	1	2	2	2	:	:	:	:	:	:
5	2	1	2	1	:	:	:	:	:	:
6	2	1	2	2						
7	2	2	1	1	y_{91}	y_{92}	...	y_{930}	\bar{y}_7	SN_7
8	2	2	1	2	y_{81}	y_{82}	...	y_{830}	\bar{y}_8	SN_8

4. 현 공정의 대안 분석 및 결과

분석된 현 공정상의 문제점에 기초하여 라인밸런싱을 통해서 각 공정 내 작업인원을 효율적으로 할당하기 위한 개선안을 도출하였다.

4.1 라인밸런싱을 통한 각 공정 내 작업인원의 효율적 할당

각 공정 내 작업능력을 효율적으로 할당하기 위해 먼저, 제품의 품질 및 물리적 개선의 어려움 등과 같은 현실적 문제를 고려하여 각 공정들을 주요공정과 부속공정의 두 가지로 구분하였으며 시뮬레이션 개선대안들은 다음과 같은 기준에 의해 생성되고 수행되었다.

실험은 각 실험조합에 대해서 30회씩 반복 실험하였다. 각 대안의 조합에 따른 실험결과 특성치는 신발의 총 생산량이 되며, 신발의 총 생산량은 많으면 많을수록 좋은 특성을 가지므로 실험결과분석은 망대특성(larger characteristic)으로 분석하였다.

각 대안의 조합에 따른 시뮬레이션 결과값, 즉 30회 반복 실험한 신발 총 생산량의 평균 그리고 S/N비(signal to noise)를 <표 4>에 나타내었다. 이때 S/N비의 값은 다음 식에 의해서 계산되었다.

$$SN_i = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{30} \frac{1}{y_{ij}^2} \right]$$

여기서, i 는 실험조합 번호이며 j 는 반복횟수이다.

<표 4>에 주어진 시뮬레이션 결과를 바탕으로 각 대안의 수준별 평균 총 생산량 및 S/N비를 계산하여 그래프로 나타내면 <그림 3>과 같다. 먼저 개선대안들의 조합 중에서 신발 총 생산량을 최대로 산출하여 줄 수 있는 대안의 조합은 A₂B₁C₁D₁ 수준이다(<그림 3> 참조). 이는 현 공정에서 대안 A만을 채택한 경우로서, 작업자 1명이 감소한 상태이다. 최적조합에 의한 평균 신발 총 생산량은 시뮬레이션 결과 1546.7족으로 총 생산량이 1546.8족인 현재 공정과 거의 동일한 결과가 나타났다.

표 4. 시뮬레이션 실험 결과값 및 S/N비

실험번호	A	B	C	D	시뮬레이션 결과값 (총 생산량)	S/N비
1	1	1	1	1	1548	63.7967
2	1	1	1	2	1502	63.5331
3	1	2	2	1	1534	63.7156
4	1	2	2	2	1504	63.5471
5	2	1	2	1	1535	63.7194
6	2	1	2	2	1511	63.5795
7	2	2	1	1	1545	63.7756
8	2	2	1	2	1505	63.5483

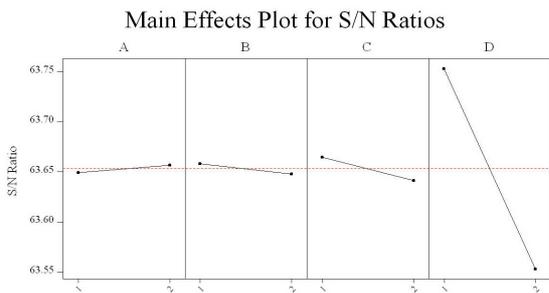


그림 3. 각 대안의 수준별 S/N비에 대한 반응치.

신발의 총 생산량 측면에서 각 대안들의 채택 여부에 따른 통계적 유의성 검정을 위해 <표 5>와 같이 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 분산분석 결과를 살펴보면 대안 A, 대안 B, 대안 C는 p -값이 매우 크게 나타나 유의하지 않으나, 대안 D는 p -값이 매우 작게 (p -value <0.01) 나타나 두 수준 간의 차이는 매우 유의하다고 판단할 수 있다. 이것은 대안 D를 채택할 경우에는 상당한 양의 생산량 감소가 일어난다는 것을 의미한다.

표 5. 신발의 총 생산량에 대한 분산분석표

변인	자유도 (DF)	제곱합 (SS)	제곱평균 (MS)	F값	p값
A	1	8.00	8.00	0.16	0.712
B	1	8.00	8.00	0.16	0.712
C	1	32.00	32.00	0.66	0.477
D	1	2450.00	2450.00	50.34	0.006**
오차	3	146.00	48.67		
합계	7	2644.00			

이러한 결과를 종합하여 보면, 대안 D는 분산분석 결과 유의하다고 판정되어 개선대안에서 삭제되어야 한다. 그러나 대안 A, 대안 B, 대안 C는 모두 신발의 총 생산량에는 영향을 주지 않으면서도 각기 작업인원을 1명씩(총 3명) 줄일 수 있는 대안들이라고 결론지을 수 있다. 여기서 대안 A, 대안 B, 대안 C를 모두 채택한 경우를 편의상 대안 ‘A+B+C’라고 하였다.

이제 가동률 측면에서 각 대안들을 살펴볼 필요가 있다. 고려 대상은 현 공정과 대안공정 ‘A+B+C’이다. 앞선 <표 2>에 나타나 있는 현 공정의 시뮬레이션 결과를 보면 평균 가동률은 0.682이고 공정간 표준편차는 약 0.18로 크게 나타났다. 그러나 대안공정 ‘A+B+C’를 시뮬레이션한 결과 평균 가동률은 0.719로서 상대적으로 크게 나타났고, 각 공정 간 편차 또한 0.170으로서 현 공정에 비해 작아졌다. 이것은 라인 간 가동률이 상대적으로 균형화되었다는 것을 의미한다. 하지만 좀더 세부적으로 살펴보면, ‘핸드 그라인딩’, ‘본드 칠 C’, ‘사방압축’, ‘본드 찌꺼기 제거’, ‘손질’, ‘패스카드 넣기’ 등은 0.9 이상의 가동률을 보이고 있다. 특히 대안 C에 해당되는 ‘본드 찌꺼기 제거’ 공정의 가동률은 0.995로서 거의 쉼 없이 작업을 한다는 뜻이 된다. 이러한 공정은 언제든 새로운 애로공정으로 등장할 가능성이 있으므로 대안 C는 개선대안에서 삭제되어야 한다.

따라서 최종적으로 선택된 대안은 ‘대안 A’와 ‘대안 B’이다. 대안공정 ‘A+B’에 대해서 시뮬레이션 실험한 결과, 평균 신발 총 생산량은 1544.0족으로 나타났으며, 이것은 현 공정의 평균 총 생산량 1546.8족과 2.8족밖에 차이가 나지 않는 결과이다.

결론적으로 이러한 최종 대안을 채택하면 현재 상태의 생산능력을 그대로 유지하면서도 총 작업인원을 2명이나 줄일 수 있게 됨으로써 상당한 인건비 절감의 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 혹은 현재의 작업인원을 유지하면서 신발 총 생산량을 극대화하는 방안을 생각할 수도 있다. 이 때에는 감소된 작업자를 현재 애로공정으로 작용하고 있는 공정들, 예를 들면 ‘핸드 그라인딩’, ‘본드 칠 C’, ‘사방압축’, ‘패스카드 넣기’, ‘손질’ 등의 공정들에게로 유연성 있게 활용함으로써 달성될 수 있다.

4.2 불량률 변화와 애로공정 생산능력 변경에 따른 산량 감도 분석

현재 상태의 신발 제조공정은 앞서 제2장에서 언급한 바와

같이 두 번의 검사과정, 즉 1차 검사(접착 및 손질검사)와 2차 검사(최종 검사)를 거치게 되어 있다. 1차 검사인 ‘접착 및 손질 검사’ 공정에서는 ‘접착’ 공정에서 발생된 본드의 찌꺼기나 접착 불량으로 인한 제품불량을 검사하는 공정이다. 1차 검사에서 발견된 불량품은 다시 재작업 공정인 ‘본드 및 찌꺼기 제거’ 공정 또는 ‘본드 추가’ 공정으로 재투입된다. 한편 2차 검사인 ‘최종 검사’ 공정에서는 신발의 전반적인 품질을 검사하게 되는데 실제로 찌꺼기 미제거 및 접착불량으로 인한 불합격 비율이 2차 검사 후 전체 불량원인의 약 90% 이상 차지하는 것을 앞선 공정분석을 통해서 알 수가 있었다.

비디오 분석을 통한 공정분석 결과 조사된 1차 및 2차 검사 후의 불합격률과 그 원인에 대한 비율이 <표 6>에 나타나 있다. 실제 불합격 비율은 제품의 색상에 따라 달랐지만 <표 6>의 결과는 그 중 가장 많이 제조되는 색상의 제품을 대상으로 하였다. 여기서 불합격 비율은 공정 중 재작업 비율을 나타낸 것이다.

<표 6>에 나타난 결과는 1차 검사인 ‘접착 및 손질 검사’ 공정에서의 불합격 비율이 매우 높다는 것을 볼 수 있다. 이렇게 높은 비율은 고스란히 본 공정 및 재작업 공정에 부하를 가중시키게 되어 해당 공정의 작업능력(작업자 수)의 증가 혹은 신발 총 생산량의 감소를 초래하는 중요한 원인이 된다. 바꿔 말하면, 1차 검사에서의 불합격 비율을 줄일 수 있다면 해당 공정에 여유능력이 생기게 되어, 이를 적절히 활용하면 신발의 총 생산량도 증가할 것이라는 것이다.

따라서 본 절에서는 1차 검사에서의 불량률이 전체 신발 총 생산량에 미치는 영향과 해당 재작업 공정의 가동률에 미치는 영향에 대한 감도분석을 수행하고자 한다.

4.2.1 불량률에 따른 총 생산량의 감도분석(1차 실험)

시뮬레이션 모형은 <표 6>의 1차 및 2차 검사 후의 불합격률과 그 원인에 대한 비율에 기초하여 구축되었으며, 결과분석은 신발의 총 생산량과 해당 재작업 공정의 가동률에 초점을 두고 수행하였다. 먼저 불량률에 따른 감도분석을 위해 1차 검사 시의 불합격 비율을 5%씩 각각 감소시켜가며 실험하였고 2차 검사 불합격 비율은 결과값에 대한 반영 정도가 매우 미약하여 10%를 그대로 유지시켜 놓았다. 이때 불합격 비율의 구체적인 감소방안 등에 대한 논의는 본 연구의 범위를 벗어나므로 고려하지 않았다. 시뮬레이션은 각각의 불합격 비율당 30회 반복 실험하였고 그 결과는 <표 6>과 같다.

표 6. 불합격 비율에 따른 총 생산량 및 가동률의 변화

1차 검사 불합격 비율(%)	2차 검사 불합격 비율(%)	총 생산량	가동률(감소율%)	
			본드 추가	찌꺼기 제거
50	10	1546.8	0.479(0.0%)	0.753(0.0%)
45	10	1547.5	0.405(15.4%)	0.739(1.9%)
40	10	1548.5	0.335(17.3%)	0.725(1.8%)
35	10	1550.5	0.277(17.2%)	0.723(0.3%)
30	10	1552.9	0.225(18.7%)	0.715(1.1%)

<표 6>에서 볼 수 있듯이 1차 검사에서 불합격 비율이 낮아질수록 총 생산량이 점차 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만 신발 총 생산량의 증가폭은 매우 작으며 일정 수준에서 더 이상 증가하지 못하고 있는 것을 볼 수가 있다. 이것은 재작업 공정 이후의 애로공정들에 의한 영향 때문인 것으로 예측될 수 있다. 따라서 이러한 실험계획만으로는 불합격 비율의 감소에 따른 순수한 영향을 알 수가 없기 때문에, 현재 교락되어 있는 불합격 비율의 영향과 애로공정들에 의한 영향을 분리하기 위한 특별한 실험방법이 필요한 것으로 판단되었다.

4.2.2 불량률과 애로공정 생산능력에 따른 총 생산량의 감도 분석(2차 실험)

불합격 비율의 영향이 애로공정들에 의한 영향에 교락되어 있는 것을 분리하기 위해, 먼저 현재 상태의 애로공정을 가동률이 0.9 이상인 공정으로 규정하고, 각 애로공정들에 대한 작업능력을 향상시켰다. 작업능력의 향상방법은 현재 애로공정들의 각 작업속도를 10% 혹은 20% 향상시킨 것으로, 즉 각 애로공정의 작업시간을 10% 혹은 20% 단축시킨 것이다. 이것은 현재의 애로공정들에 대한 영향을 줄이기 위해 라인밸런싱을 수행한 것으로 이해될 수 있다. 이후 상대적으로 균형화된 공정상태에서 1차 검사공정의 불합격 비율을 40% 및 30%로 줄여서 재실험하였다. 시뮬레이션 실험결과를 앞선 결과와 비교 정리하면 다음 <표 7>과 같다.

표 7. 불합격 비율에 따른 총 생산량의 변화

작업능력 증가비율	0%		10%		20%	
	평균 총 생산량	차 (증가폭)	평균 총 생산량	차 (증가폭)	평균 총 생산량	차 (증가폭)
불합격 비율 50%	1546.8	-	1676.7	-	1837.0	-
40%	1548.5	1.7 (0.1%)	1728.9	52.1 (3.1%)	1895.9	58.9 (3.2%)
30%	1552.9	6.1 (0.4%)	1738.6	61.9 (3.7%)	1908.7	71.7 (3.9%)

실험결과를 살펴보면, 먼저 현재 상태에 비해 애로공정의 작업능력이 증가될수록, 즉 애로공정이 해소될수록 평균 총 생산량은 크게 증가하고 있으며, 또한 불합격 비율이 50%인 현재 상태에 비해 불합격 비율이 감소될수록 평균 총 생산량은 상당히 증가하고 있다. 이러한 증가폭은 불합격 비율이 감소될수록 그리고 애로공정의 작업능력이 증가될수록 더욱 커지는 것을 볼 수 있다. 예를 들면 불합격 비율이 50%일 때 현재 상태의 평균 총 생산량 1546.8쪽에서 작업능력이 20% 향상되었을 때 1837.0쪽으로 약 18.8% 증가한 반면, 불합격 비율이 30%일 때는 현재 상태의 1552.9쪽에서 작업능력이 20% 향상되었을 때 1908.7쪽으로 약 22.9% 증가하였다. 한편 순수한 불

합격 비율의 감소에 대한 영향은 앞서 언급된 바와 같이 애로 공정들의 영향으로 인해 상대적으로 작게 나타났지만, 1차 검사에서의 불합격 비율을 줄이는 것만으로도 약 3~4% 가량의 총 생산량 증가를 이룰 수 있다는 것을 시뮬레이션 결과에서 확인할 수 있다.

가동률 측면에서 <표 6>의 실험결과를 다시 살펴보자. 두 가지의 재작업 공정(본드추가, 찌꺼기 제거) 모두의 가동률이 크게 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 불합격 비율이 줄어들어서 그만큼 재작업 공정에 대한 부하가 줄었기 때문에 발생하는 당연한 결과로 예측된다. 따라서 '본드추가' 공정에서 발생하는 여유를 활용하기 위해 작업능력 1(작업자 수 1명)을 제거한 후 '본드 추가' 및 '찌꺼기 제거' 공정을 병합시켜 별도의 재작업 공정으로 변환시키는 대안과 남은 작업능력을 1차 검사 이후의 애로공정으로 투입하는 대안을 생각할 수 있다. 전자는 인건비 절감의 효과가 있으며, 후자는 총 생산량 증대의 효과에 기여할 수 있다.

결론적으로, 1차 검사에서의 불합격 비율을 줄일 수 있다면 재작업 공정에서의 부하가 크게 줄어들게 되고, 재작업 공정에서의 남은 여유를 라인밸런싱, 즉 애로공정의 해소에 사용하면 총 생산량을 크게 향상시킬 수 있다는 것을 예상할 수 있다.

5. 결 론

국내 신발업체들의 생산시스템은 탄력성이 부족하고 표준화가 미흡하여 자동화, 정보화 등을 매우 어렵게 하고 있다. 특히 OEM 생산에 의존하는 중소 신발생산기업들은 OEM의 특성상 촉박한 일정에 쫓기게 되어 생산계획 및 공정조건 등을 최적으로 설정하지 못하고 과거의 경험 등에 의해 단기적이고 즉흥적으로 설정하고 있다. 이러한 행태는 중소 신발생산기업들의 생산성 저하와 손실 초래의 중요한 원인이 되고 있다. 또한 생산성 향상과 효율성 분석을 위해서는 현 생산설비 및 관리시스템의 문제점을 분석하고, 분석에서 밝혀진 문제점을 해결하기 위한 대안들의 평가가 요구된다. 그러나 실제 시스템을 대상으로 이러한 대안을 실험하고 평가하는 것은 자금력이 절대적으로 부족한 중소 신발생산기업에게는 비용 및 시간적 측면에서 결코 쉽지 않은 일이다.

본 연구에서는 국내 중소 신발생산기업의 생산시스템에 기반하여 추가적인 비용 및 투자 없이 생산공정의 효율성 및 생산성을 시험해 보기 위한 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 이

를 위해 시뮬레이션 대상 업체를 선정하고, 생산공정의 흐름 및 특성들을 세부적으로 조사하였다. 조사된 사항들에 기초하여 시뮬레이션 전용언어인 ARENA5.0을 사용하여 시뮬레이션 모형을 구축한 후, 대상 업체의 현 생산공정을 시뮬레이션 실험하였다. 실험결과는 각 공정의 가동률이 매우 낮고 불균형적이라는 점, 높은 불량률로 인해 많은 재작업 사항들이 발생하여 생산효율이 낮다는 점 등 몇 가지 문제점들을 파악할 수 있었다. 본 연구에서는 신발산업에서 인건비 절감의 중요성을 감안하여, 우선적으로 각 공정에서의 유휴율을 줄여서 가동률을 향상시키고자 하였다. 이를 위해 몇 가지 대안을 제시하였으며, 실험계획법을 사용하여 최소의 실험으로 최적의 개선 대안들을 제시하였다.

본 연구에서의 대상시스템 시뮬레이션 모형을 완전한 검증 을 위해서는 보다 많은 현장의 데이터가 필요하나, 현재 국내 신발산업의 전산화가 열악하고, 작업의 표준화 미비 등 자료 수집에 상당한 어려움이 있어 여러 가지 사항들에 대한 적절한 대응이 미흡했다고 사료되어지며 이것은 추후 보완될 계획 이다.

참고문헌

- Moon, D-H., Sung, J-H., and Cho, H-I.(2003a), A Case Study on the Verification of the Initial Layout of Engine Block Machining Line Using Simulation, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 12, 41-53.
- Moon, D-H., Kim, H-S., Song, C., and Kim, K-W.(2003b), A Simulation Analysis on the Validity of Color Rescheduling Storage in an Automobile Painting Shop, *IE Interfaces*, 16, 211-221.
- Moon, I-K., Yun, W-Y., Cho, K-K., and Choi, W-J.(2004), *Simulation with ARENA*, 3rd edition, Kyobo Book Centre.
- Shin, H-P., Park, S-Y., and Lee, H-K.(1992), Material Handling System Improvement Analysis Applying Simulation Technique, *IE Interfaces*, 5, 35-46.
- Lim, J-M., Kim, K-S., and Sung, K-S.(1998), Determination of the Optimal Configuration of Operating Polices in an Integrated-Automated Manufacturing System Using the Taguchi Method and Simulation Experiments, *IE Interfaces*, 11, 23-40.
- Lim, S-J., Kim, K-S., Park, M-W., and Kim, S-K.(2002), Mixed Model Assembly Line-Balancing Using Simulation, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 11, 69-79.
- Cho, K-K., Moon, I-K., Yun, W-Y., and Kim, Y-K.(1999), A Simulation Study to Analyze Production and Material Flow of a Microwave Oven Assembly Line, *IE Interfaces*, 12, 121-131.



이 경 근
 서울대학교 섬유공학 학사
 서울대학교 경영학 석사
 미국 California Berkeley 대학교 산업공학 박사
 현재: 부산대학교 산업공학과 교수
 관심분야: 경제시스템 설계 및 분석,
 생산 및 재고관리



조 형 수
 동의대학교 산업공학 학사
 동의대학교 산업공학 석사
 동의대학교 산업공학 박사
 현재: (주)포스트시스
 관심분야: 모델링 및 시뮬레이션, 시스템
 신뢰성 분석



윤 원 영
 서울대학교 산업공학 학사
 한국과학기술원 산업공학 석사
 한국과학기술원 산업공학 박사
 현재: 부산대학교 산업공학과 교수
 관심분야: 신뢰성공학, 시뮬레이션



차 병 철
 부산대학교 산업공학 학사
 부산대학교 산업공학 석사
 부산대학교 산업공학 박사
 현재: 부산대학교 산업공학과 포스트닥
 관심분야: Supply Chain Management, 시스템
 분석 및 설계

7



문 일 경
 서울대학교 산업공학 학사
 서울대학교 산업공학 석사
 미국 Columbia 대학교 산업공학 박사
 현재: 부산대학교 산업공학과 교수,
 기술사(공장관리)
 관심분야: 생산일정계획 및 재고관리, Supply
 Chain Management, Reverse Logistics