

시물레이션 기법을 통한 자동차용 열 수축 튜브 생산공정모델 개발*

조규성^{1†} · 이승훈²

Developing the Performance Analysis Model of the Heat-Shrink-Tube Manufacturing Process using a Simulation Method

Gyu-Sung Cho · Seung-Hoon Lee

ABSTRACT

This research suggests a simulation model regarding the performance analysis of the Heat-Shrink-Tube manufacturing process using a simulation method. To analyze this study, firstly, we have collected the operating data from 'A' automobile parts company. Secondly, we have analyzed the collected data to apply a simulation model. Thirdly, we have developed a simulation model to experiment the process analysis and the line balancing methodology. The proposed simulation model can be executed by various input data without changing the simulation model and the performance of the Heat-Shrink-Tube Manufacturing system can be calculated by this model.

Key words : Simulation, Heat-Shrink-Tube Manufacturing Process, Performance

요약

본 연구는 시물레이션 방법을 이용한 자동차용 열 수축 튜브 생산 공정을 가상의 생산 공정 모델로 구현하고, 구현된 모델을 기반으로 열 수축 튜브 생산 공정을 분석하는 연구이다. 자동차용 열 수축 튜브 생산 공정을 분석하기 위해서 공정별로 생성되는 데이터를 수집하고, 수집된 데이터 분석을 통한 자동차용 열 수축 튜브 생산 공정을 분석할 수 있는 가상의 생산 공정 모델을 구현하였다. 구현된 모델을 통해 공정 내에서 발생하는 병목현상 파악 및 원인분석, 공정별 사이클 타임, 부품 생산량 등을 산정함으로써 현 공정 분석 및 개선방안을 모색할 수 있어 기업의 생산 공정관리 효율성을 높일 수 있다.

주요어 : 시물레이션, 열 수축 튜브, 제조공정, 성능산정

1. 서론

1.1 연구 배경

산업화가 지속적으로 발전되면서 튜브류 제품들이 적용되는 분야가 다양해지고 제품의 종류들도 점차 다변화되고 있다. 이에 튜브류 제품을 생산하는 기업에서는 제품의 시장 경쟁력의 우위를 확보하기 위해 제품의 대량

생산을 위한 체계적인 생산 공정을 구축하여 운영하는 것이 필요하게 되었다. 특히 자동차 산업에서의 튜브류는 인체의 혈관과 같이 자동차의 내부에 복잡하게 조립되어 유체 및 가스를 안전하게 이송하는 역할로서 튜브의 결함은 대형사고와 직결되므로 튜브의 품질관리와 신뢰도 확보는 자동차의 안전 운행에 있어 중요한 요소 중 하나가 된다. 세계적으로 자동차에 사용되는 튜브류는 친환경과 고기능성이 요구되고 있어 선진 자동차 완성차 업체에서는 소구경 금속 튜브의 부식 및 각종 유해원인으로부터 자동차용 튜브를 보호하기 위하여 튜브 표면에 열 수축 튜브를 사용하고 있다. 열 수축 튜브를 사용한 삽입 및 가열공정은 일정 길이로 절단된 열 수축 튜브를 수작업으로 삽입하여 가열로를 통과시켜 부착시키는 방식으로 열 수축 튜브를 길이별로 절단하여 일정한 보관 박스에 보관하다가 필요한 시점에 다시 생산 공정에 투입되는 이중 작

*이 연구는 현장맞춤형 기술개발사업과제로 수행되었습니다.

접수일(2010년 5월 10일), 심사일(1차 : 2010년 8월 23일, 2차 : 2010년 10월 18일), 게재 확정일(2010년 10월 28일)

¹⁾ 동명대학교 물류시스템전공

²⁾ 동의대학교 산업경영공학과

주 저 자 : 조규성

교신저자 : 조규성

E-mail : gscho@tu.ac.kr

업으로 인해 생산성 저하 및 큰 작업 공간을 차지하고 있다. 가열 공정은 대형로를 구비하여 대형로내에서 이송 컨베이어를 통해 열 수축 튜브를 이동시키면서 가열하는 작업방식을 사용하고 있다. 이러한 작업방식은 생산공정내 작업대기 시간이 길어져 생산성 저하의 원인이 되기도 하며, 작업공정에서 발생하는 고열로 인해 작업에 많은 어려움이 있다. 그러나 열 수축 튜브의 삽입 및 가열 공정은 수작업으로 이루어지기 때문에 현 공정에서 발생하는 문제점 도출 및 공정분석에 한계가 있어 공정내 효율적인 생산관리 및 작업관리가 매우 어려운 상황이다. 뿐만 아니라 국내에서 열 수축 튜브를 생산하는 기업에서는 현재 수작업으로 해당 제품을 생산하고 있기 때문에 작업회피 공정으로 취급받고 있다. 이에 본 연구에서는 시뮬레이션 기법을 통한 자동차용 열 수축 튜브 생산 공정을 가상의 생산 공정 모델로 구현하여 현 공정의 문제점 분석 및 생산성 향상 방안을 모색하고자 한다. 이를 위해 먼저 현 공정에 대한 운영을 분석하고 운영 분석을 통해 도출된 데이터를 기반으로 현 공정시뮬레이션모델을 구현하여 그 결과를 분석하였다. 현 공정은 수작업에 의한 작업저하로 생산성 향상에 한계가 있어 현 공정에 문제점을 개선한 자동화공정을 구현하고 이를 통한 생산량 증대의 효율성을 제시함으로써 열 수축 튜브 삽입 가열 공정을 자동화 공정으로 전환 필요성을 제시한 연구이다. 시뮬레이션 기법을 적용할 경우에는 현재의 공정현황을 쉽게 분석할 수 있을 뿐만 아니라 개선 대안의 적용을 통한 대안 검증을 쉽게 수행할 수 있다. 또한 실제 공정내 흐름을 애니메이션으로 구현할 수 있기 때문에 사용자 또는 공정관리자가 다양한 위치에서 해당 공정을 관찰할 수 있기 때문에 새로운 공정에 대한 이해력 향상과 공정에서 발생하는 다양한 현상을 파악 및 분석할 수 있다. 그리고 현재의 공정 환경을 시뮬레이션에 반영할 수 있기 때문에 현실 문제를 해결하는데 적합한 기법이다.

본 연구를 수행하기 위해 서론에 이어 2장에서는 자동차용 열 수축 튜브 생산 공정의 특징 및 운영에 관해서 기술하고, 생산 공정 운영 시 요구되는 자료를 토대로 시뮬레이션 모델에 필요한 입력데이터를 도출하였다. 3장에서는 도출된 입력데이터를 기반으로 열 수축 튜브 생산 공정을 가상모델로 구축하고 분석을 수행하였다. 4장에서는 열 수축 튜브 생산 공정을 자동화 공정으로 구현한 생산 시스템 분석을 수행하였다. 그리고 마지막으로 본 연구에 대한 결론을 기술하였다.

시뮬레이션 기법의 적용분야는 다양하지만 시뮬레이션 기법을 적용한 연구들 가운데 생산 공정분야에 대한 연구

는 주로 생산량 증대 및 작업 효율성 향상을 위한 연구들에 적용이 되었다. 김형석은 생산현장에 설치된 PLC에 컴퓨터를 연결하여 열 수축 튜브의 자동 절단 시스템의 공정을 제어할 수 있는 자동절단 및 공정제어 시스템 개발연구를 수행하였다^[1]. 문덕희 외는 자동차 공장내 Paint Body Storage 운영에서 발생하는 혼류생산에 적합한 투입순서 결정을 위한 시뮬레이션 연구를 수행하였다^[2]. 윤철희 외는 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 활용하여 디지털 도어록을 생산하는 혼류 공정에서의 최적화 설계에 관한 연구를 수행하였다^[3]. 이강걸 외는 자동차 조립공장의 자재 배치문제를 자동으로 수행할 수 있는 디지털 가상공장모델 개발 및 자동자재배치 알고리즘 개발연구를 수행하였다^[4]. 조현섭 외는 시뮬레이션방법과 DEA방법을 혼합한 열차도장시설에서의 효율적인 인력배치방안에 관한 연구를 수행하였다^[5]. 최성훈은 인터넷 시스템에서 패킷 스케줄링방법을 평가할 수 있는 시뮬레이션 개발에 관한 연구를 수행하였다^[6]. 한영신 외는 반도체 공정 교육을 수행하기 위한 시뮬레이션기법을 적용한 교육용 컴퓨터 모델 설계 및 구현에 관한 연구를 수행하였다^[7]. 황홍석 외는 자동차 차체조립공정설계를 위해 Closed Queuing Network 방법을 적용하여 차체조립공정에서 요구되는 시스템 성능을 만족시킬 수 있는 시스템 구성 선정 및 시뮬레이션 방법 적용을 통한 차체 조립공정을 가상의 모델로 구축한 연구를 수행하였다^[8].

1.2 연구 방법론

본 연구는 열 수축 튜브를 생산하는 “A” 자동차 부품 회사에서 수행되는 공정의 체계적 분석 및 이를 통한 생산성 향상을 위해 시뮬레이션 프로그램인 AutoMod^[9]를 사용하여 제조공정시뮬레이션 모델을 구축하는 것을 최종 목표로 한다. 본 연구에 적용되는 AutoMod 프로그램은 물류시스템을 효율적으로 분석하기 위해 만들어진 물류분야 전용 시뮬레이션 프로그램으로 GUI기반의 데이터 입력과 3D를 지원함으로써 사용자가 보다 쉽게 공정 시스템을 구현할 수 있도록 만들어진 소프트웨어다. 이를 위해 본 연구에서는 열 수축 튜브 생산 공정 모델을 구현하기 위해 먼저 공정에서 발생하는 문제점의 및 문제의 구체화 작업을 수행한다. 그리고 연구수행 범위 설정과 설정 범위 내에서 발생하는 공정별 데이터 수집 및 분석을 수행한다. 분석데이터를 기반으로 시뮬레이션 모델에 필요한 입력데이터로 변환 후 시뮬레이션 모델을 설계하고 실험을 통한 결과 분석 작업을 수행한다.

2. 시뮬레이션 모델 개요

2.1 열 수축 튜브 생산 공정

열 수축 튜브는 자동차 하단에 설치되어 연료 탱크에서 엔진까지 연료를 공급하는 금속관을 보호하기 위해 삽입되는 일종의 고무 튜브로서, 열 수축 튜브 생산 공정은 금속관에 열 수축 튜브를 삽입시킨 후 고열에 의해 금속관에 고무 튜브를 고정시키는 작업이다. 일반적으로 열 수축 튜브 작업 시 발생하는 불량은 차량운행에서 대형 사고를 발생시킬 수 있기 때문에 열 수축 튜브 작업은 보다 체계적인 작업관리에 의해서 운영이 되어야 한다. 일반적으로 열수축 튜브 생산 공정은 관리자가 생산계획을 작성하고 작성된 생산계획에 따라 일일 작업계획 및 작업 지시 출력 등의 생산 지시가 내려진다. 생산 지시가 내려지면 현장의 작업자는 일련의 작업내용을 검토하고 제품 길이별로 열 수축 튜브 절단, 삽입, 이송, 열 수축 튜브 수축 가열 등의 공정을 검토하고 작업을 수행하게 된다. 그림 1은 고무튜브와 금속관 공급에서부터 수행되는 열 수축 튜브 생산 공정 흐름을 나타내고 있다. 금속관 투입 공정에서는 금속관이 열 수축 튜브가 도착하기 전까지 대기하고 있다가 열 수축 튜브가 도착하면 튜브 삽입공정이 수행된다. 본 연구에서는 금속관은 늘 일정하게 대기하고 있다가 열 수축 튜브가 도착하면 튜브 삽입공정이 수행되는 것으로 시뮬레이션 모델을 구축하기 때문에 열 수축 튜브 절단에서부터 열 수축 튜브 가열공정까지가 주 공정이 된다. 열 수축 튜브 생산 공정별로 수행되는 수행 작업을 기술하면 표 1과 같이 정리할 수 있다. 그리고 열 수축 튜브 절단공정과 열 수축 튜브 보관지역에서 마킹공정으

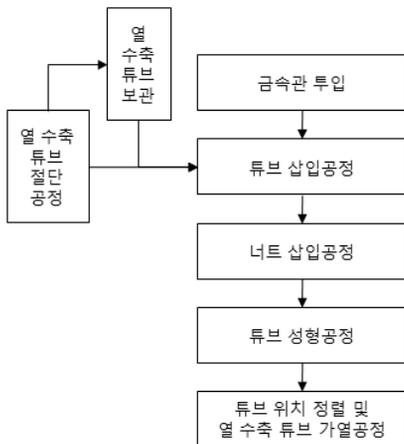


그림 1. 열 수축 튜브 생산 공정도

로 이동시에는 대차를 이용하여 운반하고 있다.

2.2 공정별 세부운영

열 수축 튜브의 공정별 세부 운영은 다음과 같다.

① 열 수축 튜브 절단공정

열 수축 튜브 절단공정에서는 최초 원자재가 공정에 투입되어 절단기에 의해 제품을 절단하고 절단된 제품 20개를 한 묶음으로 하여 50묶음씩 대차에 실린다. 대차를 통해 열 수축 튜브는 공정에 투입되거나 투입시점에 공정에서 가공이 진행될 경우 열 수축 튜브 보관 장소로 이동하여 보관하게 된다. 운행 대차 대수는 총 4대로 전공정에서 제품을 실고 후속공정에 도착하면 적재된 모든 제품은 내려놓게 된다.

② 튜브 삽입공정

튜브 삽입공정은 금속관에 절단된 열 수축 튜브를 삽입하는 공정으로 금속관 1개에 열 수축 튜브를 각각 삽입한다.

③ 너트 삽입공정

열 수축 튜브 절단공정에서 20개 50묶음씩 너트 삽입 공정으로 이동 후 공정에 20개를 순차적으로 투입한다. 투입된 제품은 금속관 종류에 따라 삽입이 되며 같은 종류의 금속관이 삽입된 제품은 15개가 한 묶음씩 후속 공정으로 운반된다.

표 1. 공정별 수행 작업

공정명	수행 작업
열 수축 튜브 절단공정	- 원 자재 투입 - 열 수축 튜브 삽입 공정으로 이동 - 절단된 튜브를 대차로 이송
열 수축 튜브 보관	- 열 수축 튜브 절단공정으로부터 절단된 열 수축 튜브를 보관 - 튜브삽입공정으로 이동
튜브 삽입공정	- 이송된 열 수축 튜브를 금속관에 삽입 - 금속관 삽입 후 가열공정으로 이송
너트 삽입공정	- 열 수축 튜브 삽입 후 양쪽 끝 부분에 너트 삽입
튜브 성형공정	- 금속관 삽입 공정 후에 절단 튜브 끝 단면 성형
튜브 위치 정렬 및 열 수축 튜브 가열공정	- 가열기 삽입을 위한 튜브 정렬 - 금속튜브에 삽입된 열 수축 튜브의 위치 결정 - 가열 장치 투입 - 공기 냉각 - 제품 정렬

④ 튜브 성형공정

튜브 성형공정에서는 금속관 삽입공정에 투입된 15개를 개별 단위로 분류하여 1개씩 성형 작업을 수행하고 작업 완료 후 다시 15개를 한 묶음으로 하여 후속 공정으로 운반한다.

⑤ 위치 정렬 및 열 수축 튜브 가열공정

위치 정렬공정에서는 15개 제품을 한 개씩 분류하여 가열공정에 투입시킨다. 그리고 열 수축 튜브 가열공정에서는 한 개씩 가열시키고 가열공정이 끝난 후 50개씩 한 묶음으로 하여 반출한다.

2.3 공정시뮬레이션 모델 입력데이터

공정시뮬레이션 모델을 구축하기 위하여 공정도면과 생산 공정 흐름 및 생산시간과 이송장비에 관한 데이터를 수집하였다. 공정시뮬레이션 모델을 구축하기 위하여 수집된 데이터는 표 2, 표 3 및 표 4와 같다. 본 공정에서는 금속관 삽입공정에서 생산되는 제품에 따라 삽입되는 고무 튜브류의 종류는 7가지로 분류되어 사용되고 있다.

표 2에서 제시된 공정별 설비 및 작업자에 대한 입력데이터는 현 공정에서 수행되고 있는 운영현황이다. 현재의 시스템은 작업자에 의한 수작업이 수행되기 때문에 제품별 비율 및 시간 등의 시뮬레이션에 필요한 데이터는 작업공정에서 작업관리자가 1달 이상 현장에서 측정된 데이터를 토대로 열 수축 튜브와 금속관은 공정에 투입되는 분포 및 비율 등을 산정하였다. 너트 삽입공정과 튜브 성형공정에서는 3m이상의 금속관에 고무튜브를 삽입하기 위해서는 금속관의 양쪽에 각각의 작업자가 배치되어 양쪽에서 고무 튜브를 삽입하기 하기 때문에 2명의 작업인원이 소요된다. 그리고 이들 작업자들은 작업공정별로 작업물에 따라 이동하면서 작업하기 때문에 공정별로 최소 1명에서 최대 2명의 작업인력이 요구된다.

표 3과 같이 금속관의 길이에 따라 열 수축 튜브의 길이는 5가지로 구별하여 각각의 공정에서 작업을 수행하고 있다. 즉 튜브 길이가 길수록 작업시간이 사이클 타임이 길고 길이가 짧을수록 사이클 타임이 작다.

금속관에 삽입되는 열 수축 튜브의 양끝에는 열 수축 튜브를 고정시키기 위한 너트를 삽입시키고 너트의 크기와 개수에 따라 총 7그룹으로 구분하고 있다. 표 3의 사이클 타임에 따라 7그룹의 제품은 각각의 사이클 타임의 합산으로 산정된다. 예를 들어 A군은 중대 1개와 중소 1개로 구성이 되기 때문에 사이클 타임은 6.98초에 2.5초를 더하여 표 4와 같이 총 9.48초가 된다.

표 2. 공정별 설비 및 작업자에 대한 입력데이터

공정명	설비 대수 (대)	작업 인원 (명)	사이클 타임 (초)	총 작업 시간 (시)	작업 준비 시간 (시)	순수 작업 시간 (시)	휴식 시간 (시)
열 수축 튜브 절단공정	2	1	1	10	0.2	8.68	1.12
튜브 삽입공정	1	1	3.3	10	0.08	8.8	1.12
너트 삽입공정	2	2	3.8	10	0.08	8.8	1.12
튜브 성형공정	2	2	3.12	10	0.22	8.67	1.12
열 수축 튜브 가열공정	1	2	3.26	10	0.25	8.63	1.12

표 3. 열 수축 튜브 길이 및 사이클 타임

구분	길이	사이클 타임(초)
대	3M이상	9.5
중대	3M~1M	6.98
중	1M~0.5M	4.41
중소	0.5M~0.1M	2.5
소	0.1M이하	1.8

표 4. 튜브 삽입공정내 종류별 사이클 타임

구분	비율 (%)	구분					총 사이클 타임 합(초)
		대	중대	중	중소	소	
A 군	51.1	0	1	0	1	0	9.48
B 군	11.4	0	0	0	3	1	9.3
C 군	10.3	0	1	1	0	0	11.39
D 군	10.2	0	0	1	0	0	4.41
E 군	7.0	0	0	0	0	0	0
F 군	5.4	1	0	0	0	0	9.5
G 군	4.9	0	0	0	3	4	14.7

또한 공정 내에서 사용되는 운송 장비인 대차는 총 4대가 운영 중에 있으며 대차의 이송속도는 4km/h이고 열 수축 튜브 절단공정에서 열 수축 튜브 삽입공정 간의 절단된 열 수축 튜브 이송에 사용되고 있다. 그 외 공정은 작업자에 의해 운반된다.

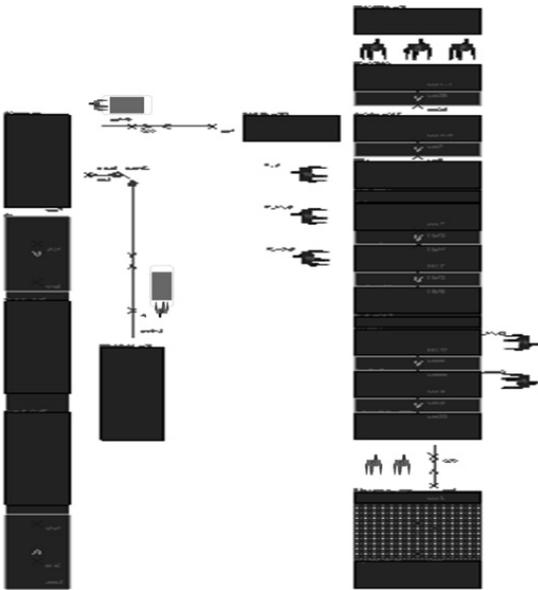


그림 2. 가상의 열 수축 튜브 생산 공정

3. 열 수축 튜브 생산 공정모델 구현

3.1 시뮬레이션 모델 구현

가상의 열 수축 튜브 생산 공정은 공정물류시뮬레이션 툴인 AutoMod를 사용하여 구현하였고, 구현된 모델은 그림 2와 같다. 구현된 모델은 열 수축 튜브 생산공정내 작업자, 기계 및 운반 장비의 운영 정보를 입력데이터로 하였고, 실제 작업규모를 반영한 실제시스템으로 구현하였다. 구현된 모델은 1일 10시간 기준으로 1년(260일)을 시뮬레이션 하여 결과를 도출하였다. 그리고 시뮬레이션 수행 후 1주일(50시간)이 지난 후 구현된 시스템이 stable state가 되었다. 각 공정별로 물류 운반단위는 Batch 단위로 수행되고 있으며, 각각의 공정에서 해당 단위개수를 계산하여 일정수준의 Batch단위로 될 경우 다음 공정으로 이동하도록 구현되었다. 시뮬레이션 구현 시 공정별 작업자의 1일 작업스케줄을 시뮬레이션 모델에 입력하여 해당 시간별로 작업자의 휴지 및 작업을 계속해서 반복 수행하도록 구현하였다. 그리고 작업준비시간은 당일 아침 작업시간에 수행되도록 설정하였다.

3.2 시뮬레이션 모델 분석

3.2.1 공정별 분석

열 수축 튜브 생산 공정을 가상의 생산 공정으로 구축

표 5. 공정별 일일수행결과

공정명	총 처리량	평균 대기량	최대 대기량	평균 대기 시간
열 수축 튜브절단공정	10,416	15.25	20	9.14
절단 완료된 열 수축 튜브 보관	20,000	14,200	15,000	4,431.6
튜브 삽입공정	5,000	1,544.87	1,915	1,927.9
너트 삽입공정(1)	3,435	2.15	48	3.9
튜브 성형공정(1)	3,433	1.84	2	3.34
너트 삽입공정(2)	3,420	0.32	16	0.59
튜브 성형공정(2)	3,420	0.05	2	0.09
열 수축 튜브 가열 공정	3,400	0.73	49	2.19

하고 수행 시 도출된 결과는 표 5와 같다. 본 공정의 하루 가동시간은 10시간으로 매일 3,400개의 제품을 생산하고 연간 총 생산량은 연간 260일 기준으로 88.4만개를 생산하고 있다. 공정별 재공품은 튜브 삽입 공정이 전체 공정 중에서 가장 많은 1,544개이며 절단된 열 수축 튜브 보관 지역에서는 평균 14,200개를 보관하는 것으로 나타났다. 그러나 너트 삽입공정 및 튜브 성형공정과 열 수축 튜브 가열 공정 내에서의 대기되는 재공품은 거의 없었다. 즉 이들 공정에서는 공정내 재고가 거의 존재하지 않음을 알 수 있다. 평균대기시간은 절단 완료된 열 수축 튜브는 평균 74분을 대기하고 있고, 튜브 삽입 공정에서는 개당 32분을 대기하고 있음을 알 수 있다. 하지만 튜브 성형공정과 너트 삽입공정은 거의 대기량이 발생하지 않고 작업을 수행하고 있는 것으로 나타났다.

튜브 삽입 공정에는 삽입되는 너트 종류에 따라 7가지의 제품군을 생산하고 있는데, 생산되는 제품별 비율에서는 A군이 제품이 전체의 51%로 일일 1,737개를 생산하고 있으며 그 외 제품군별 생산량을 정리하면 표 6과 같다.

3.2.2 작업자 작업효율 분석

현 공정에서는 총 6명의 작업자가 배치되어 작업을 수행하고 있고 공정별 작업자의 작업효율은 표 7과 같다.

표 6. 튜브 삽입 공정에서의 발생 비율별 생산량

구분	비율(%)	생산량
A 군	51.1%	1,737개
B 군	11.4%	388개
C 군	10.3%	350개
D 군	10.2%	347개
E 군	7.0%	238개
F 군	5.4%	184개
G 군	4.9%	156개

표 7. 공정별 작업자 작업효율

공정명	작업자 수	작업 효율
튜브 삽입공정	1	90%
너트 삽입공정(1)	1	40%
튜브 성형공정(1)	1	33%
너트 삽입공정(2)	1	40%
튜브 성형공정(2)	1	33%
열 수축 튜브 가열 공정	1	35%

표 8. 공정별 운송장비 운행 현황

운행구간	운행 횟수	1회 운송량	총 운송량	운송 수단
고무절단 공정 ↔ 절단 완료된 튜브 보관장소	20회	1,000	20,000	대차 및 인력
절단 완료된 튜브 보관장소 ↔ 튜브 삽입 공정	5회	1,000	5,000	대차 및 인력
튜브 성형공정 ↔ 열 수축 튜브 가열공정	68회	50	3,400	인력

튜브 삽입 공정의 작업효율이 가장 높은 90%를 차지하고 있으나 나머지 공정내 작업자의 작업효율은 40% 이내로 작업효율이 매우 떨어짐을 알 수 있다. 이에 너트 삽입공정(1) 및 튜브 성형공정(1)과 너트 삽입공정(2) 및 튜브성형공정(2)에 작업자를 각각 1명씩 배치시키고 작업 상황에 따라 작업자 배치를 유동적으로 활용 시 현행의 작업자 수를 줄일 수 있는 방안을 모색할 수 있다.

3.2.3 운송 장비 성능 분석

운송장비의 1회 운송량이 공정별로 정해질 경우 1일 운행 횟수 및 총 운송량은 표 8과 같이 산정되었다. 1회

표 9. 공정별 평균 재고량

공정명	재고량
열 수축 튜브 절단공정	16
절단 완료된 열 수축 튜브 보관장소	15,000
튜브 삽입 공정	1,560
너트 삽입공정(1)	2
튜브 성형공정(1)	2
너트 삽입공정(2)	0
튜브 성형공정(2)	0
열 수축 튜브 가열 공정	0

운송량은 길이가 동일한 고무튜브의 운송량이고 작업자는 작업물의 종류에 따라 구별하여 제품을 운송한다.

3.2.4 공정별 평균 재고량

공정 시뮬레이션 수행결과 도출된 공정별 평균 재고량은 표 9와 같다. 절단 완료된 열 수축 튜브 보관장소를 제외하면 튜브 삽입 공정의 재고량이 1,560개로 가장 높기 때문에 현재의 열 수축 튜브 생산 공정에서의 애로 공정을 알 수 있다. 그 외 너트삽입공정과 튜브 성형공정에서는 재고가 거의 존재하지 않음을 알 수 있다. 따라서 애로 공정을 개선하기 위해서는 표 8의 절단 완료된 튜브 보관 장소에서 튜브 삽입 공정으로의 운송량을 5회에서 4회로 줄이고, 1회 운송량 단위도 1,000에서 500단위로 줄여 공정에 투입할 경우 애로 공정의 평균 재고량을 줄일 수 있는 방안이 될 수 있다.

4. 통합 열 수축 튜브 삽입 가열 자동화공정

4.1 자동화 생산공정

본 연구에서는 기존의 수작업공정에서 발생된 문제점을 해결하기 위한 대안으로 인력을 최소화 하고 생산량을 높이기 위한 통합 열 수축 튜브 삽입 가열 자동화공정을 개발하였다. 통합 열 수축 튜브 삽입 가열공정은 자동화를 기반으로 기존의 수작업 공정에서 금속튜브 공급, 열 수축 튜브삽입, 열 수축 튜브공급, 튜브가열공정을 하나로 통합한 자동화 생산 공정으로 구축된 시스템이다. 통합 열 수축 튜브 삽입 가열공정의 공정흐름도는 그림 3과 같다. 열 수축 튜브 절단공정에서는 금속관이 시스템에 투입될 때마다 튜브의 길이를 자동으로 절단하여 공정에 투

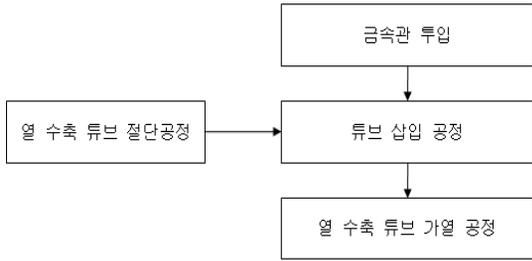


그림 3. 통합 열 수축 튜브 삽입 가열공정

표 10. 공정입력 데이터

공정명	설비사용 대수	작업자	사이클타임(초)	
금속관 공급장치	1대	1명	4.61	
튜브삽입공정	2M1P		1대	6.93초
	2M2P		2대	9.54초
열 수축튜브 가열공정	2M1P		1대	6.93초
	2M2P	2대	9.54초	

입되도록 구현되었다. 따라서 자동화 생산 공정에서는 대차의 사용이 필요 없으며, 여분의 열 수축 튜브를 보관하는 보관 장소도 필요가 없게 된다.

또한 자동화공정의 생산방식에는 2M1P방식과 2M2P방식이 혼재한 혼류생산방식을 사용하여 제품을 생산하고 있다. 2M1P의 방식은 튜브 삽입 공정에서 삽입되는 열 수축 튜브가 1개인 작업방식이고, 2M2P방식은 튜브 삽입 공정에서 삽입되는 열 수축 튜브가 2개인 작업방식이다. 이는 삽입되는 튜브의 길이에 따라 금속관에 삽입되는 튜브수를 달라지게 함으로써 다양한 종류의 제품생산이 가능하도록 설계되었다. 또한 자동화 공정내 세부공정간 최대 재공품 재고는 1개가 되도록 하였다.

4.2 자동화공정 모델 입력데이터

자동화공정의 효율성을 분석하기 위하여 본 연구에서는 자동화공정을 시물레이션모델로 구축하기 위한 각 공정별 사이클 타임과 설비대수를 생산방식(2M1P, 2M2P)에 따라 정리하면 표 10과 같다. 그리고 일일 총 작업시간은 10시간이고, 작업준비시간은 0.08 및 기계가동시간은 8.8시간이다. 그리고 제품 생산방식에 따른 작업시간과 제품생산비율은 표 11과 같이 각각 4.4시간이며, 제품생산비율도 각각 50%이다. 작업자 1명은 전체 시스템 제어를 담당하고 있고 실제 생산 작업은 수행하고 있지 않다.

표 11. 공정별 생산방식에 따른 작업시간 및 생산량

공정별 생산방식	순수 작업시간(시)	비율
2M1P 공정	4.4	50%
2M2P 공정	4.4	50%
총 순수 작업시간	8.8	100%

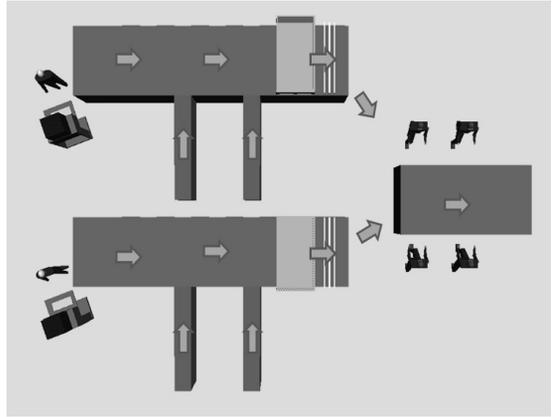


그림 4. 자동화공정시스템

4.3 자동화공정 시물레이션모델 구현

시물레이션 모델로 구현한 자동화공정시스템은 그림 4와 같다. 자동화공정시스템은 기존의 수동공정시스템보다 작업공정을 통합시켜 개발하였기 때문에 작업인원이 적고 작업공정이 단축되었다.

자동화공정에서는 2M1P와 2M2P방식을 혼재하여 투입되는 작업방식에 따라 자동적으로 튜브를 하나씩 금속관에 삽입시키도록 구현하였다. 또한 자동화 생산 공정에서는 대차와 작업자가 필요가 없으며, 전체시스템 제어를 위한 관리자가 1명은 실제 생산 작업을 수행하고 있지 않기 때문에 시물레이션 모델 구현에서 제외시켰다. 그리고 자동화 공정에서 공정 중 한곳에 고장이 발생할 경우는 해당되는 전 공정이 정지하도록 구현하였다.

4.4 자동화공정 분석

자동화공정을 분석하기 위해 1회 수행 시간은 10시간(1일 작업시간 10시간 기준)으로 총 30회 반복(30일)시켰으며, Warmup-Time은 10시간으로 설정하여 시물레이션을 수행하였다. 자동화공정의 시물레이션 결과 공정별 총 처리량, 평균 대기량, 평균 대기시간 등을 살펴보면 표 12와 같다.

자동화공정 시물레이션 결과 가열공정에서의 일일 생

표 12. 공정별 분석 결과

공정명		공정별				
		총 생산량	평균 대기량	최대 대기량	최소 대기량	평균 대기 시간
튜브 삽입 공정	2M1P	2284개	1개	1개	0개	0.26
	2M2P	1659개	1개	1개	0개	0.36
열 수축 튜브 가열 공정	2M1P	2283개	0.44개	1개	0개	0.12
	2M2P	1658개	0.48개	1개	0개	0.17

표 13. 개선 전후 생산량 비교분석

공정별	1일 생산량	비고
수작업공정	3,400 개	
자동화공정	3,939 개	16% 증가

산량은 2M1P생산방식에서는 2,283개이고, 2M2P의 생산방식에서는 1,658개이다. 일일 총 생산량은 3,939개이며 연간 총 생산량(주 5일제 연간 260일 기준)은 102.4만 개가 된다. 따라서 자동화공정을 개발하여 운영 시 제품 생산량은 수작업공정에 비해 표 13과 같이 최대 16%의 생산 증대 효과를 얻을 수 있게 된다.

5. 결 론

시뮬레이션 기법은 실제 시스템을 가상의 모델로 구현함으로써 실제시스템에서 발생하는 현상을 이해하고 운영하는데 필요한 다양한 전략을 수립할 수 있다. 이러한 이유로 인해 기업에서는 가상의 모델을 구현하기 위한 노력을 다각적으로 수행하고 있다. 본 연구는 자동차 산업에서 사용되는 튜브류를 생산하는 생산 공정을 보다 효율적으로 이해하고 분석하기 위해 시뮬레이션 기법을 사용한 자동차용 열 수축 튜브 생산 공정을 시뮬레이션 모델로 구현하고 이를 통한 생산 공정 분석을 실시하였다. 시뮬레이션 수행 시 가장 중요한 부분이 입력데이터를 수집하는 것이다. 특히 기업 내에서 생산 공정에 필요한 입력 데이터를 체계적으로 관리하지 못하는 경우가 빈번하기 때문에 향후 개선된 시스템을 고려할 경우에도 많은 어려움이 발생하고 있다. 본 연구는 현 공정에서 수작업을 통해 튜브를 제조하고 있기 때문에 공정의 흐름이 체계적으로 수행되지 못한 상황에서 본 연구를 통해 공정내 작업

시 소요되는 제품별 사이클 타임, 작업표준시간 등을 산정하고 이를 시뮬레이션 모델에 적용함으로써 가상의 모델을 구현하는데 큰 의의가 있다. 또한 본 모델은 공정내 작업시간 변경 및 작업환경에 따른 다양한 입력정보를 입력할 수 있도록 구현되었기 때문에 작업 변경 시 발생하는 다양한 공정내 결과 값을 도출하여 분석을 할 수 있도록 개발되었다. 즉 개발된 시뮬레이션 모델은 GUI기반으로 구현되었기 때문에 현장 작업자가 공정 데이터를 수정하기 원할 경우에는 해당 입력창의 데이터를 직접 수정 후 시뮬레이션을 재 수행할 수 있도록 개발되었다. 또한 본 연구를 통해서 기존의 수작업을 자동화 공정으로 개선함으로써 생산성 증대 및 인력감축의 효과를 얻었다. 이로 인해 기업 내에서 연간 계획 생산량과 작업인원 및 사이클 타임 변경 시 다양한 실험을 사전에 수행할 수 있기 때문에 공정에서 발생하는 문제점을 사전 및 개선활동을 지속적으로 수행할 수 있다.

참 고 문 헌

- 김형석, 이병룡, 유호영, “열 수축 튜브 자동 절단 장치를 위한 공정제어 및 감시 시스템에 관한 연구”, 대한기계학회논문집 A권, 제32권 제12호, pp. 1140-1145, 2008년.
- 문덕희, 송성, 하재훈, “자동차공장의 Painted Body Storage 운영에 관한 시뮬레이션 연구”, IE Interfaces, 제18권 제2호, pp. 136-147, 2005년.
- 윤철호, 유기훈, 이인철, 변의석, “디지털 도어록 혼류공정 최적화 설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 연구”, 한국산학기술학회논문지, 제10권 제7호, pp. 1439-1445, 2009년.
- 이강걸, 강형석, 노상도, “자동차가상생산기술적용(VI) : 디지털가상공장을 이용한 조립공장 자재배치 및 검토”, IE Interfaces, 제21권 제1호, pp. 131-140, 2008년.
- 조현섭, 김연진, 이홍철, “시뮬레이션과 DEA를 이용한 열차도장시설의 인력배치방안 연구”, 한국산학기술학회논문지, 제 10권 제6호, pp. 1389-1398, 2009년.
- 최성훈, “휴대 인터넷 시스템에서의 패킷 스케줄링 방법 평가를 위한 시뮬레이터 개발”, 한국산학기술학회논문지, 제7권 제6호, pp. 1149-1154, 2006년.
- 한영신, 전동훈, “반도체 공정 교육을 위한 교육용 컴퓨터 모델 설계 및 구현”, 한국시뮬레이션학회 논문지, 제18권 제4호, pp. 219-225, 2009년.
- 황홍석, 조규성, “자동차 차체조립공정설계를 위한 시뮬레이션”, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 제27권 제1호, pp. 95-102, 2001년.
- AutoMod, Brooks Automation, 2006.



조 규 성 (gscho@tu.ac.kr)

2000 동의대학교 산업공학과 공학석사
2003 동의대학교 산업공학과 공학박사
2003~2006 한국산업인력공단
2007~2009 동명대학교 항만물류교육원
2009~현재 동명대학교 항만물류학부 교수

관심분야 : 시뮬레이션, 물류시스템, 항만물류, 생산관리시스템



이 승 훈 (shlee@deu.ac.kr)

1986 KAIST 산업공학과 공학석사
1990 KAIST 산업공학과 공학박사
1989~현재 동의대학교 산업경영공학과 교수

관심분야 : 품질공학, 실험계획법, 측정시스템분석, 품질정보시스템, 시뮬레이션응용 등