J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng Vol. 44, No. 2 : 93-101, June 2021
https://doi.org/10.11627/jkise.2021.44.2.093
ISSN : 2005-0461(print)
ISSN : 2287-7975(online)

A Simulation Analysis on the Assembly System of Mobile Bath Vehicles

Hoyeon Chung†

Department of Industrial Engineering, Jeonju University, Korea / TITAN Co., Ltd.

이동식 목욕차량의 조립시스템에 대한 시뮬레이션 분석

정 호 연†

전주대학교 산업공학과/주식회사 타이탄

The purpose of this study is to analyze the adequacy of production capacity of the assembly process system of mobile bath vehicle's top box panel and process design through a simulation analysis. Towards this end, the layout of the facility designed with pre-verification job using a simulation modeling and an experiment, and facility, logistics process, and personnel input method were made into a simulation model, and the design system's adequacy was evaluated through an experiment. To produce 120 mobile bath vehicles annually, it was analyzed that 14 general workers and seven skilled workers were adequate through the experiment. It was also identified that three painting process lines carried out through outsourcing were adequate. Production lead time was 201.7 hours on average and it was 230 hours maximum. To meet customer delivery service level of 95% within the deadline when establishing a customer order and vehicle delivery plan, it was analyzed that more than 215 hours of lead time is needed minimum. If the process cycle time is reduced to 85% upon system stabilization and skillfulness improvement, it was analyzed that annual output of 147 vehicles can be achieved without additional production line expansion.

Keywords : Mobile Bath Vehicle, Assembly System, Simulation Analysis, Simulation Modeling

1. 서 론

2017년부터 우리나라는 65세 이상의 노인 인구가 14%가 넘어감에 따라 고령사회로 진입하게 되었다[1]. 이에 따라 노인복지에 대한 관심과 지원의 필요성이 점점 증가하고 있으며, 그 중 거동이 불편한 고령자나 장애인 및 노숙자들을 직접 찾아가 목욕 서비스를 제공하는 이동식 목욕차량의 수요도 또한 증가하고 있다. 본 연구는 시뮬레이션 분석을 통하여 이동식 목욕차량 탑박스 판넬 조립공장 시스템의 생산능력 및 프로세스 설계의 적정성을 분석하기 위한 것이다. 이를 위해 시뮬레이션 모델화 및 실험을 이용한 사전 검증작업으로 설계된 시설의 레이아웃, 시설, 물류 프로세스, 인원투입 방법을 시뮬레이션 모델로 만들어 실험을 통해 설계시스템의 적정성을 평가하고자 한다[5].

시뮬레이션을 통한 가상제조분석은 최소한 두가지 관점에서 살펴볼 수 있다. 첫 번째는 생산성에 관한 것이며, 두 번째는 프로세스 가동의 적정성에 관한 것이다[7]. 최근 복잡한 제조시스템에서의 다양한 시뮬레이션 분석에 대한 시도가 이루어지고 있다[1, 3, 8, 10, 12]. 이는 신제품 개발이나 새로운 장비의 개발 및 새로운 제조시스템 개발에 시뮬레이션 분석이 매우 유용한 도구로서 활용이 가능하기 때문이다[2, 9, 11]. 본 연구에서는 고령사회에서 거동이 불편한 취약계층에 그 활용성이 증대되고 있는 이동식 목욕차량의 조립시스템에 대한 시뮬레이션 분석을

Received 26 May 2021; Finally Revised 23 June 2021;
Accepted 24 June 2021
† Corresponding Author : hychung@jj.ac.kr

통해 다양한 정보를 파악할 목적으로 시뮬레이션 분석을 실시하였다.

본 연구의 목적은 첫째, 설비투자의 적정성 및 처리능력 검토이다. 이를 위하여 본 연구에서는 계획된 설비 및 프로세스 사양을 기준으로 이동식 목욕차량 탑박스 판넬 조립공정 운영 시 목표 생산량 달성 여부를 분석한다. 둘째, 탑박스 판넬 조립공정 프로세스 적정성 검증이다. 이를 위하여 목표 생산량을 달성하기 위한 소요장비 및 인원의 수량을 산정하고 프로세스 구성에 따른 효율 적정성을 검토한다. 본 연구에서 사용하는 시뮬레이션 모델화 방법으로는 이산사건 기반의 시뮬레이션 소프트웨어인 WITNESSⓇ[11]를 사용하여 단순 통계적(static)인 방법의 단점을 극복하고 시간 경과에 따른 프로세스의 진행과정을 동적(dynamic)으로 묘사하여 분석결과를 이동식 목욕차량 탑박스 판넬 조립공장의 실행계획을 수립하기 위한 의사결정에 활용하고자 한다.

2. 모델화 범위 및 방법

2.1 연구의 범위

본 연구에서 적용하는 시뮬레이션 분석을 위한 대상 및 범위는 다음과 같다. 모델화의 범위는 신차입고 및 검사에서부터 고객인도까지로 한정하였고, 모델의 상세화 수준은 생산량 달성을 위한 공정의 적정성 검토를 중심으로 각 공정에는 처리능력, 인원 등의 데이터를 반영하고 또한 처리시간과 고장발생 정보를 입력변수로 처리하였다.

2.1.1 모델화 범위

- 신차입고 및 검사 → 탑박스 판넬 조립 → 시운전(테스트) → 고객 인도까지의 프로세스를 모델화의 대상으로 한다.
- 제시된 레이아웃을 기반으로 생산설비, 인원 및 조업방식을 모델에 적용한다

2.1.2 상세화 수준

- 계획된 레이아웃, 공정순서를 기준으로 목표 생산량을 달성하기 위한 공정배분 및 시설규모의 적정성 검토를 우선으로 한다.
- 공정설비의 처리능력, 인원 및 조업방식, 물류이동과 관련된 프로세스를 반영한다.
- 각 공정의 처리시간(cycle time) 및 고장발생(break down) 관련 정보를 입력변수로 처리하여 사용자가 임의의 값을 상시 변경할 수 있도록 한다.

2.1.3 시뮬레이션 분석 수행 항목

시뮬레이션의 분석 수행 항목으로는 수요에 원활한 대응 여부에 관한 생산능력(capacity)에 관한 분석, 생산시간에 관한 리드타임 분석, 재공량(work in process) 비율에 관한 분석, 인원, 장비의 가동률이 최적인지에 대한 분석, 그리고 각 입력변수에 관한 민감도 분석을 수행한다.

- 생산능력분석
- 리드타임 분석
- 재공량 분석
- 인원 및 장비 가동률 분석
- 민감도 분석

2.2 개발방법 및 절차

본 연구의 추진을 위하여 우선 시뮬레이션 분석을 위한 계획수립 및 조사를 바탕으로 레이아웃, 장비특성 및 운영기준 검토 등 시뮬레이션 모델화 대상을 검토한다. 다음으로 주요 평가방법에 따른 핵심지표(KPI)를 결정하고, 이를 통한 시뮬레이션 모델화 작업을 진행한다. 모델화를 위한 세부 검토 사항을 요약하면 다음과 같다.

- 기준물동량, 보관 공간 및 이동경로 산정
- 레이아웃(품목별, 종류별 적치 장소 및 방법 설정) 구성
- 설비(설비별 운용대수 및 처리능력 산정, 이동경로 및 운용방법) 구성
- 조업방식 및 투입인원 설정
- 시뮬레이션 베이스(base)모델 개발
- 모델검토 및 베이스 모델 검증

최종적으로 이를 바탕으로 실험계획 및 실험을 진행한다.

2.3 시뮬레이션 분석을 통한 기대효과

본 연구의 시뮬레이션 분석을 통한 기대효과는 다음과 같다.

- 계획의 객관적 검증

설계 레이아웃, 물동량 및 설비처리 능력이 반영된 시뮬레이션 모델을 기반으로 다양한 시나리오(scenario) 구성에 따른 시스템의 처리능력을 객관적으로 검증한다.

- 다양한 시뮬레이션 산출물 활용

생산프로세스 및 처리시간 분포를 반영한 각 공정의 가동률 및 생산성 관련 보고서와 도표를 활용하여 가시적인 시뮬레이션 결과를 분석한다.

• 이해 증진

인터랙티브한 모델의 구성으로 그래픽을 이용한 현실감 있는 모델을 구성 실험함으로써 사용자의 의사결정에 활용한다.

3. 모델화 대상 및 시뮬레이션 조건

3.1 공정흐름의 조건

각 공정별 작업에 투입되는 작업자는 일반 작업자와 각 공정 작업에 필요한 자격증을 소지한 숙련 기술자로 구분되며, 각 작업자에 필요한 소요인력 중 필수적으로 필요한 숙련 기술자의 소요량은 다음 <Table 1>에서와 같이 괄호 안에 표시하였다. 예를 들어, S6 스커드 장착 공정의 경우 3(1)로 표시하였는데, 필요한 작업자는 3명이나 이중 1명은 숙련기술자의 투입이 필요하다는 의미를 갖는다. 각 공정별 작업에 필요한 소요시간은 작업자의 수작업에 의존하는 관계로 변동성이 적용되며, 측정결과 적용시간은 구간별 적용비율(%)을 곱한 값을 소요시간으로 적용하였다. 예를 들어, S6 스커드 장착에 소요되는 평균시간은 4시간이나 각 이벤트 수행시 적용되는 시간은 다음 <Table 2>의 분포를 기준으로 경험치를 바탕으로 적용비율을 반영하여 산정된 값을 적용하였다.

<Table 2>의 분포는 실제 작업시간을 측정한 경험치를 기준으로 작성되었다. 스테이션 번호(No.)는 공정 그룹을 나타내며, 물리적으로 동일공간에 배정되어 수행되어야 하는 공정들을 각 스테이션 No.로 그룹화 하였다.

<Table 2> Time Spent Distribution for Process Number S6

No.	Applied ratio(%)	Interval frequency	Note
1	90 < ~ ≤ 92.5	15.4	
2	92.5 < ~ ≤ 95	17.7	
3	95 < ~ ≤ 97.5	16.5	
4	97.5 < ~ ≤ 100	12.9	
5	100 < ~ ≤ 102.5	10.8	
6	102.5 < ~ ≤ 105	7.1	
7	105 < ~ ≤ 110	5.7	
9	110 < ~ ≤ 112.5	4.6	
10	112.5 < ~ ≤ 115	3.4	
11	115 < ~ ≤ 120	3	
12	120 < ~ ≤ 125	3	

<Table 1> Time and Manpower by Process

Station No.	Process No.	Job name	Operation hours (Hr)	No. of Workers (skilled)
St No. 1	S1	New vehicle warehousing inspection	4	2
St No. 2	S2	Vehicle registration, Insurance coverage, Safety inspection application	8	1
	S3	Deck removable, Back lamp, Haness removal	8	3
	S4	Spare tire removable	2	2
	S5	Sub frame mounting	4	2
	S6	Skirt mounted	4	3(1)
	S7	Side and top panel mounted	8	3(1)
St No. 3	S8	Ventilation, Lamp, Window, Middle Door, Rear door installed	8	2
	S9	Lift mounting	8	2
	S10	Floor panel and steel plate mounting	8	2(1)
	S11	Facility system mounting and wiring connection	4	3(1)
	S12	Structural change inspection	8	1
	S13	Mounting the facility system and disconnecting wiring	4	3(1)
St No. 4	S14	Paint work	32	2
St No. 5	S15	Detachment of floor panel and Steel plate	4	2
	S16	Drain tank installation	2	2
	S17	Install the battery box	1	2(1)
	S18	Installation of electrical wiring and drainage line	8	1
	S19	Mounting of floor panel and steel plate	8	2(1)
	S20	Facility system mounting and wiring connection	4	3(1)
	S21	Bathtub and accessory mounting	4	3(1)
	S22	Test drive(test)	4	2
	S23	Rework	2	2
St No. 6	S24	Comprehensive insurance coverage and customer delivery	4	1

3.2 운전조건

3.2.1 공정처리 기준용량

이동식 목욕차량 조립시스템 시설의 공정처리 목표 생산량은 8시간/일, 240일/년, 작업기준 120대로 설정되었으며, 이를 수용하기 위한 적정시설과 운용인원을 산정하면 다음 <Table 3>과 같다. <Table 3>은 대상 공정의 연간 단위 작업계획 및 운영계획을 나타내고 있다. 필요시 조립라인의 추가증설은 가능하나 제한된 예산과 운용장비의 효율을 위하여 공용설비인 크레인의 운용조건은 1대로 제한하였다.

사전검토 결과 고정식 도크(dock) 조립방법을 적용시 이론적으로 최소 7개의 도크의 설치 및 운용이 필요한 것으로 파악되었으나 각각의 도크에 관련 장비를 이송하기 위한 이동경로, 장비운영공간 및 테스트에 필요한 배관시설의 설치와 같은 제약사항이 있는 관계로 프로세스 진행 단계에 따라 차량이 스테이션을 따라 이동하는 방식의 라인구성을 기본설계로 채택하였다.

<Table 3> Major Design Characteristics of Mobile Bath Vehicle Assembly System Facilities

Sortation	Content
Target output	120 units/year, 0.5 UPD(Unit Per Day)
Factory area	450 m² (15m×30m, including parts stacking and movement path)
Number of working days per year	365 days
Planned working days per year	240 days
Applied Shift	8 hours/day (240 hours×8 hours = 1,920 hours/year)
Target utilization rate	85%
Target cycle time	13.6 hours (544 min = 1,920 hours×85%/120 units)

3.2.2 장비조건

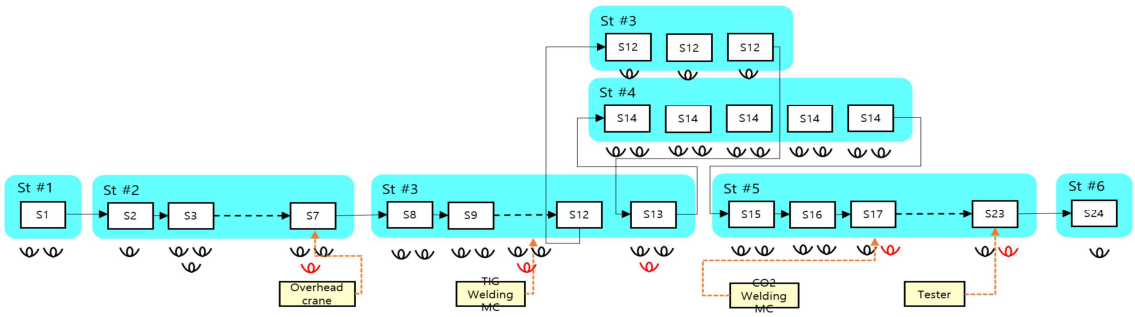
조립공정에는 CO_2 용접기, 오버헤드 크레인, 테스터기 장비가 각각 1대 그리고 TIG 용접기는 2대가 운영되는 것으로 계획되어 있으며, 각 공정에서 필요로 하는 장비의 명칭 및 주요 수량은 다음 <Table 4>와 같다.

3.2.3 공정처리 특성의 반영 항목

- 이동식 목욕차량 조립시스템 시설의 공정 구성은 스테이션 No. 1 신차입고, 스테이션 No. 6 고객인도까지의 6개의 스테이션으로 구성되며, 각 스테이션은 하위 프로세스를 포함한다.
- 각 프로세스 별 사이클 타임 정보를 엑셀시트를 이용하여 적용할 수 있도록 사용자 인터페이스를 개발한다.
- 각 프로세스에 투입되는 장비 및 인원을 모델에 반영하고 고장발생 및 수리시간을 적용한다.
- 작업자는 작업의 수행을 위하여 정해진 경로를 따라 이동하며, 도장 공정으로의 차량 이송작업 외에 일반 작업자의 투입이 어려운 경우에는 숙련 작업자가 이를 대신하도록 한다.
- 사용자의 이해를 돕기 위하여 모델의 실행을 2D, 3D 형태로 지원한다.

<Table 4> Input Equipment Configuration by Process

Station	Process number	Job name	Device name	Required quantity
No. 2	7	Side and top panel mounted	Overhead Crane	1
No. 3	10	Floor panel and ssteel plate mounting	TIG Welder	1
No. 4	17	Install the battery box	CO_2 Welder	1
	19	Mounting of floor panel and steel plate	TIG Welder	1
	22	Test drive(test)	Tester	1
	23	Rework	Tester	1



<Figure 1> Mobile Bath Vehicle Assembly Facility Process Composition Diagram

3.3 실험조건

3.3.1 핵심지표 설정 및 시나리오 구성

• 핵심지표 설정

과업의 목표인 설비투자의 적정성, 처리능력검토 및 이동식 목욕차량 탑박스 판넬 조립공정 적정성 검증을 위하여 다음과 같은 핵심지표를 설정하였다

- 조립공정의 적정 스테이션의 수량
- 도장 공정의 적정계약 시트 수량
- 프로세스 운영을 위한 적정인원 소요 수량

이는 생산량 증대에 따른 설비 확장을 계획하고 있는 단계로, 설비의 증설에 따른 필요 스테이션의 증가에 따라서 공장 부지를 확장해야 하는지 여부를 분석한다, 또한 업계 관행상 도장업체와 연간단위의 소요시트를 사전에 계약해야하는 관계를 적정한 소요시트의 산정을 위한 자료로서의 사용과 증산에 따른 작업인원을 추가로 선발해야 하는지를 알아보기 위함이다[5].

• 시나리오 구성 및 실험방법

핵심 지표의 달성 여부를 효과적으로 파악하기 위하여 다음과 같은 단계로 시나리오를 구성하고 실험을 통하여 결과를 분석한다.

- 베이스 모델 구성 및 적정 스테이션 수량의 산출을 위한 기본 시나리오 구성 및 실험
- 산출된 스테이션 수량을 기준으로 도장공정의 계약 시트 산출을 위한 시나리오 구성 및 실험
- 계획된 프로세스를 기준으로 적정 소요 인원의 산출을 위한 시나리오 구성 및 실험
- 확정된 프로세스를 기준으로 생산성 관련 지표인 리드타임, 평균 재공량, 가동률 사항을 분석

3.3.2 신뢰구간의 설정 및 Warm Up Period

초기 신뢰구간의 설정[6]은 이동식 목욕차량 조립시스템 분석모델의 공정 특성상 공정이 안정화 단계에 도달하는 시점을 산출하여 적용한다. 초기 12일(warm up period)의 시뮬레이션 수행결과는 분석대상에서 제외한다.

3.3.3 실험기간

이동식 목욕차량 조립시스템 운전계획에 따라 초기 운용시점에서부터 초기 안정화 기간(warm up period) 이후 연간 작업 일수인 240일 간의 운영결과를 기준으로 산출하며, 운영설비와 작업인원에 대하여 8시간/일의 작업시간 계획을 적용한다. 또한 실험 목적상 Warm Up Period 이후의 실험기간에 대해서는 휴일이나 휴식시간, 연간 보수계획 등의 계획정지 기간 반영을 제외하고 운영되는 작업시간을 기준으로 연속하여 가동되는 조건으로 실험한다.

3.3.4 입출력 조건

조립공정에 필요한 부품은 부족함 없이 항상 필요한 시점에 공급되는 조건(non-starving)이며, 또한 작업이 완료된 목욕차량은 지정된 시간에 출고되는 조건(non-blocked)이다.

3.3.5 확률적 분포의 적용

장비의 고장(breakdown)과 관련된 고장시간 간격은 음의 지수분포(negative exponential distribution)를 적용하며, 수리시간에 대하여는 얼랑분포(Erlang distribution, k = 2)를 적용한다. 일반적으로 시뮬레이션 실험에서는 MTBF(평균고장간격)는 지수분포를 적용하고 MTTR(평균수리시간)은 얼랑분포를 적용함을 따랐다[4, 6]. 지수분포는 단일 파라메터로 평균 도착시간 간격만을 사용하며, 얼랑분포는 평균값 및 그래프 봉우리의 기울기 정도를 나타내는 k값을 사용하는데 일반적으로 k = 2를 사용하는 것을 표준으로 채택한다[4, 6, 9, 11].

3.3.6 실험횟수

Warm Up Period + 연간 작업일수 240일의 기간을 5회 반복하여 실험한 평균값을 실험의 결과로 채택한다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 시나리오 분석

4.1.1 베이스 모델 구성 및 스테이션 수량 산정

• 베이스 모델 구성 및 기본 시나리오 구성

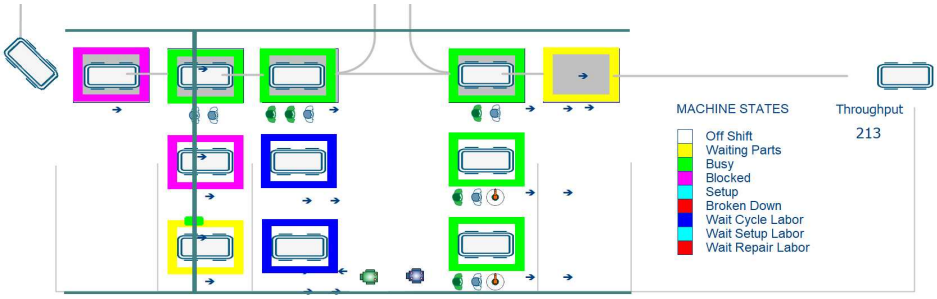
인원투입 및 도장공정의 능력한계에 따른 제약을 배제한 조건에서 이동식 목욕차량의 공정순서 및 가동능력을 반영한 베이스 모델을 구성하고 각 스테이션 수량의 증감에 따른 목표 생산량 달성 여부를 파악한다.

- 입력 파라미터 : 각 스테이션(No. 1~No. 6)의 운용수량을 1개에서 3개까지 증가(incremental)
- 출력값 : 연간 생산량

• 실험결과

WITNESS 기반의 이동식 목욕차량 조립시스템 운전 베이스 모델의 구성 후 목표 생산량 달성을 위한 스테이션 수량은 다음과 같이 산정되었다.

- 연간 생산량 : 147.2대
- 소요 스테이션 수량 : 11시트
- 스테이션 별 소요수량 : 시나리오 15, 스테이션 No. 1(1시트), 스테이션 No. 2(3시트), 스테이션 No. 3(3시트), 스테이션 No. 5(3시트), 스테이션 No. 6(1시트)



<Figure 2> Base Model base Station Quantity Estimation and Layout

베이스 모델의 구성은 기존 공장의 레이아웃 및 경험적 공정 특성을 반영한 프로세스를 기반으로 구성한 것으로 인원투입 및 도장공정의 능력한계를 배제한 상태에서 기존 실제 시스템의 실적과 비교하여 베이스 모델의 타당성(validation)을 수행하였다. 시나리오 1이 기존의 시스템을 구현한 베이스 모델을 나타내고 있다. 시나리오 15가 적용된 베이스 모델에서는 인원 및 투입장비의 제약 없이 가동할 경우에 최대 147.2개로 분석되었다. 여기에 사이클 타임 100%, 인원 및 투입장비의 제약사항을 반영하면 최대 124.8대로 나타났다. 추가로 민감도 분석을 위하여 각 공정의 사이클 타임을 1%씩 감소시키면서 측정하면 85%의 사이클 타임에서 147.6개가 가능한 것으로 분석되었다.

<Table 5> Experimental Results based on Station Quantity Changes by Scenario

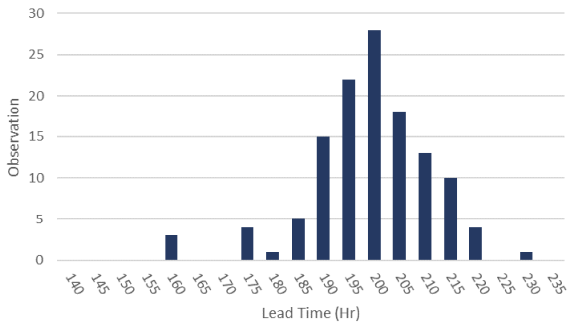
Scenario	Production/Year (Unit)	Station No. 1 .Quantity	Station No. 2 .Quantity	Station No. 3 .Quantity	Station No. 5 .Quantity	Station No. 6 .Quantity	Total Seat .Quantity
1	99.6	1	2	2	2	1	8
2	99.6	1	2	2	2	2	9
3	104.8	1	2	2	3	1	9
4	105	1	2	2	3	2	10
5	100.2	1	2	3	2	1	9
6	100	1	2	3	2	2	10
7	110.2	1	2	3	3	1	10
8	110.2	1	2	3	3	2	11
9	99	1	3	2	2	1	9
10	99.2	1	3	2	2	2	10
11	113.2	1	3	2	3	1	10
12	112.8	1	3	2	3	2	11
13	99.8	1	3	3	2	1	10
14	99.8	1	3	3	2	2	11
15	147.2	1	3	3	3	1	11
16	147.8	1	3	3	3	2	12
17	99.8	2	2	2	2	1	9
18	99.8	2	2	2	2	2	10
19	105	2	2	2	3	1	10
20	104.8	2	2	2	3	2	11
21	100.2	2	2	3	2	1	10
22	100	2	2	3	2	2	11
23	110.2	2	2	3	3	1	11
24	110.2	2	2	3	3	2	12
25	98.8	2	3	2	2	1	10
26	98.8	2	3	2	2	2	11
27	113.4	2	3	2	3	1	11
28	113.4	2	3	2	3	2	12
29	99.8	2	3	3	2	1	11
30	99.8	2	3	3	2	2	12
31	146.6	2	3	3	3	1	12
32	146.2	2	3	3	3	2	13

4.2 공정분석

4.2.1 리드타임 분석

확정된 시나리오를 기준으로 신차입고 후 고객인도까지 전체공정의 리드타임은 평균 201.7시간으로 분석되었다. 이는 각 공정별 소요시간의 합인 151.0시간(도장공정 포함)에 비하여 50시간이 초과된 값으로 작업자의 할당지연 및 이동시간, 고장발생 및 공정대기로 인한 정체를 반영한 결과이다.

- 리드타임 : 201.7시간(평균), 160.5시간(최소), 230.0시간(최대)
- 표준편차 : 11.78
- 관측횟수 : 124회
- 최빈값 : 200시간(28/124회)

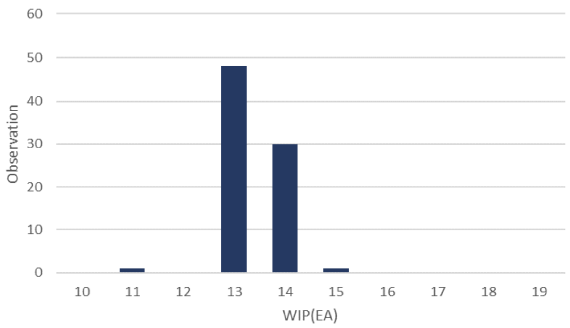


<Figure 3> Analyze Process Lead Time

4.2.2 재공량 분석

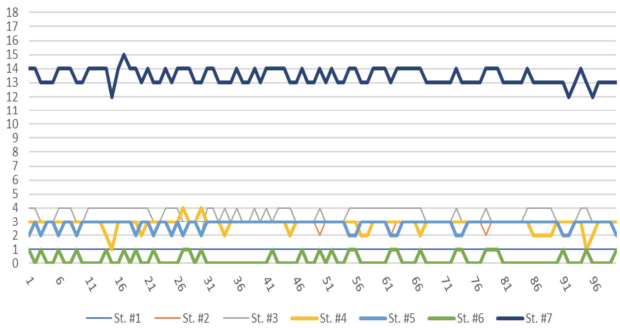
생산기간 중 평균 재공량은 13.4대로 계획공정 수량인 14개 이하로 유지하며, 공정간에 이동중인 경우와 작업대기 상태를 포함하는 것으로 분석된다.

- 재공량 : 13.4대(평균), 11대(최소), 15대(최대)
- 표준편차 : 0.58
- 관측횟수 : 80회(매3일 마다)
- 최빈값 : 13대(48/80회)



<Figure 4> Analysis of Manufacturing in Process

또한 각 스테이션별 재공량 및 합계 수량을 매 24시간마다 관측한 결과를 기록한 재공량 추이는 다음과 같다.

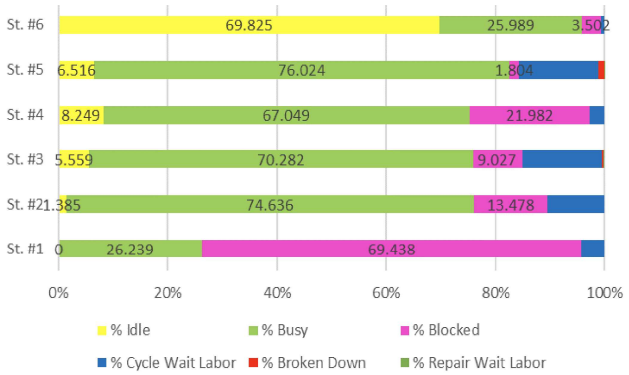


<Figure 5> Trend Analysis of Manufacturing in Process

4.2.3 가동률 분석

• 스테이션별 가동률

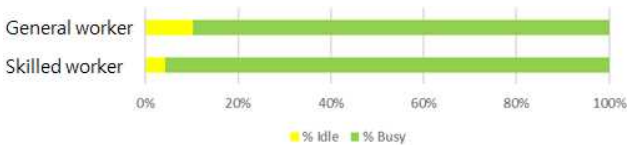
이동식 목욕차량 조립시스템 분석모델을 240일간 운전시 각 스테이션별 상태의 결과를 시간비율로 분석하면 다음과 같다.



<Figure 6> Anlysis of the Utilization Rate of the Station

• 인원 및 장비별 가동률

이동식 목욕차량 조립시스템 분석모델을 240일간 운전시 인원 및 투입장비의 가동률을 분석하면 다음과 같다.



<Figure 7> Utilization Rate for Workers

<Table 6> Utilization Rate of Input Equipments

Sortation	Input quantity	Number of operations	Working hours/times	% Busy	% Idle
General worker	14	5681	4.5	96.0	4.0
Skilled worker	7	3074	4.0	90.6	9.4
CO_2 Welder	1	126	1.0	6.5	93.5
TIG Welder	2	382	5.3	52.5	47.5
Tester	1	250	2.0	26.1	73.9

4.2.4 민감도 분석

• 민감도 분석을 위한 시나리오 구성

향후 생산공정의 안정화 및 작업인원의 숙련도 향상에 따라 각 공정별 소요 사이클 타임의 단축이 가능할 것으로 예상된다. 사이클 타임의 단축과 생산능력 증가의 상관관계를 사전에 검토하여 향후 생산성 향상을 위한 수립 시 참고자료로 활용할 수 있다.

- 입력 파라미터 : 각 공정의 사이클 타임을 감소비율 1%에서 15%까지 증가(increment 1%)
- 출력 값 : 연간 생산량의 변화

• 실험결과

사이클 타임 감축에 따른 실험결과는 다음 <Table 7>과 같으며 계획된 시스템에서 동일한 장비 및 인원을 기준으로 공정 사이클 타임을 현행 대비 85%로 감축할 경우 연간 147대 까지 증산이 가능할 것으로 분석되었다.

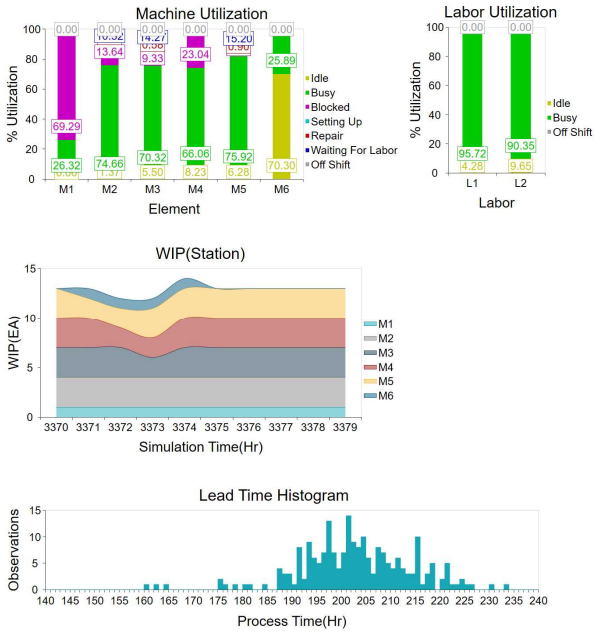
4.2.5 사용자 인터페이스

• 사용자의 이해를 위한 모니터링 그래프

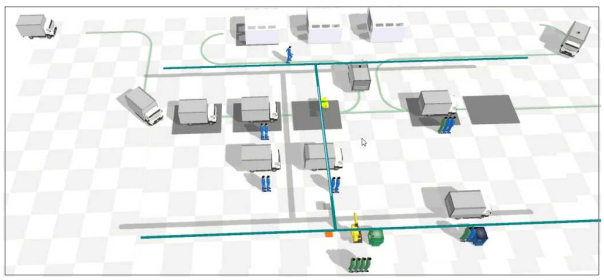
시뮬레이션 실행과정에서 공정분석과 관련된 사항을 관찰할 수 있도록 관련 그래프를 개발하여 확인할 수 있도록 하였다.

• 3D 모델 구현

시뮬레이션 실행과정을 3D 환경에서 관찰할 수 있도록 3D 모델을 구현하였다.



<Figure 8> Simulation Execution Monitoring Graph



<Figure 9> 3D Simulation Model

<Table 7> Annual Output Changes Due to Reduced Cycle Time

Scenario	Cycle Time Application rate(%)	Average production (Unit)	Minimum (Confidence level 95%)	Maximum (Confidence level 95%)	Standard deviation
1	85	147.6	146.92	148.28	0.55
2	86	145.2	143.58	146.82	1.30
3	87	143.8	142.76	144.84	0.84
4	88	143	142.12	143.88	0.71
5	89	140.8	139.76	141.84	0.84
6	90	138.6	137.49	139.71	0.89
7	91	137.2	136.16	138.24	0.84
8	92	136.2	135.64	136.76	0.45
9	93	133.8	132.76	134.84	0.84
10	94	132	131.12	132.88	0.71
11	95	130.6	129.92	131.28	0.55
12	96	129.8	128.76	130.84	0.84
13	97	128	126.76	129.24	1.00
14	98	127	126.12	127.88	0.71
15	99	125.2	124.16	126.24	0.84
16	100	124.8	123.76	125.84	0.84

5. 결 론

본 연구에서는 시뮬레이션 분석을 통하여 이동식 목욕차량 탑박스 판넬 조립공정 시스템의 생산능력 및 프로세스 설계의 적정성을 분석하였다. 이를 위해 시뮬레이션 모델화 및 실험을 이용한 사전검증 작업으로 설계된 시설의 레이아웃, 시설, 물류 프로세스, 인원투입 방법을 시뮬레이션 모델로 만들어 실험을 통해 설계시스템의 적정성을 평가하였다.

이 실험을 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

- 제시된 레이아웃을 기반으로 연간 120대의 이동식 목욕차량을 생산하기 위한 적정 스테이션 수량은 11시트로 분석되었다.
- 도장공정의 외주 계약을 위한 시트의 수량은 3개가 적정한 것으로 나타났다.
- 생산목표를 달성하기 위한 인원투입은 일반작업자 14명, 숙련작업자 7명이 적정한 것으로 분석되었다.
- 생산리드타임은 평균 201.7시간, 최대 230시간으로 고객의 주문 및 차량인도 계획 수립시 기한 내 고객인도 서비스 레벨 95% 기준을 만족하기 위하여 최소 215시간 이상의 리드타임 예측이 요구된다.
- 스테이션 No. 5 공정은 병목공정으로 스테이션 중 가동률이 가장 높은 것으로 분석되었다.
- 제시된 인원 운용계획은 90% 이상의 가동을 필요로 하는 강도 높은 작업이 요구되며, 숙련 작업자에 비해서 일반작업자의 작업부하가 상대적으로 약 4.6% 높은 것으로 나타났다.
- 향후 시스템 안정화 및 숙련도 향상 시 공정 사이클타임을 85% 까지 단축하면 추가적인 라인증설 없이 연간 생산량 147대 달성이 가능한 것으로 분석된다.

Acknowledgemenet

This research was supported by Innopolis Foundation through Technology Commercialization Services, funded by Ministry of Science and ICT (grant number : 2020-JB-RD-0077-01-101).

References

[1] Drobouchevitch, I.G., Geismar, H.N., and Sriskandarajah, C., Throughput Optimization in Robot Cells with Input and Output Machine Buffers : A Comparative Study of Two Key Models, *European Journal of Operational Research*, 2010, Vol. 206, pp. 623-633.

[2] Fowler, J.A. and Rose, O., Grand Challenges in Modeling and Simulation of Complex Manufacturing System, *Simulation*, 2004, Vol. 80, No. 9, pp. 469-476.

[3] Gultekin, H., Akturk, M.S., and Karasan, O.E., Scheduling in Three Machine Robotic Flexible Manufacturing Cell, *Computers & Operations Rearch*, 2007, Vol. 34, pp. 2463-2477.

[4] Kim, W.C., Kim, J.J., Park, B.W., Park, S.H., Park, H.R., Song, M.S., Chon, J.W., and Cho, S.S., Introduction to Statistics, Young-Ji Publication Company, 1995, pp. 105-128.

[5] Krajewski, L.J. Ritzman, L.P., and Malhotra, M.K., Operation Management, 9th Edition, Prentice Hall Publication Company, 2010, pp. 177-195.

[6] Lee, S.Y., Reliability Engineering, Hyung-sul Publication Company, 1996, pp. 37-51.

[7] Moon, D.H., Lee, J.S., Baek, S.G., Zhang, B.L., and Kim, Y. G., Developing Automatic Lens Module Assembly System Using 3D Simulation, *Journal of Korea Society for Simulation*, 2007, Vol. 16, No. 2, pp. 65-74.

[8] Savsar, M. and Aldaihani, M., Modeling of Machine Failures in a Flexible Manufacturing Cell with Two machines Served by a Robot, *Reliability Engineering and System Safty*, 2008, Vol. 93, pp. 1551-1562.

[9] Simulation : The Practice of Model Development and Use Stewart Robinson/Warwick Business School.

[10] Song, Y.J., Woo, J.H., Lee, D.K., and Shin, J.G., A Simulation Study for Evaluation of Alternative Plan and Making the Upper-limit ofr Improvement in productivity of Flow-shop with Considering a Work-wait Time, *Journal of Korea Society for Simulation*, 2007, Vol. 16, No. 2, pp. 63-73.

[11] Witness Technology for Knowing, Training Manual, Dynamic soft.

[12] Yoon, J.I., Um, I.S., and Lee, H.C., Proactive Operational Method for the Transfer Robot of FMC, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2008, Vol. 17, No. 4, pp. 249-257.

ORCID

Hoyeon Chung | http://orcid.org/0000-0002-7528-6598