

굴삭기 부품 용접 자동화라인의 셀생산방식 적용을 위한 시물레이션 연구

김혜정¹ · 이승우¹ · 문덕희^{1†}

A Simulation Study on the Application of Cellular Manufacturing System in the Automated Welding Line Producing Excavator-parts

Hye Jeong Kim · Seung Woo Lee · Dug Hee Moon

ABSTRACT

Mixed model production system means that various products are manufactured alternately in a line, and it has become a popular system in the era of multi-product small-quantity production. However, in the mixed model production system using flow line, the unbalance among stations is not inevitable because the workloads of stations cannot be the same. Thus, flow line system has been replaced to cellular manufacturing system for reducing the loss of waiting due to the unbalance of stations. In this paper, we introduce the simulation case study of an automated welding line which produces the parts of excavator. The factory has considered replacing the mixed model flow line to the cellular manufacturing system based on FMC concept. The increase of production quantity is estimated about 26.7%, and the lead time is reduced more than 55%. Furthermore sensitivity analyses are conducted considering the changes of product-mix.

Key words : Mixed model, Cellular manufacturing system, Excavator, Welding processes, Simulation, Automation

요 약

다품종 소량생산이 보편화 되면서 하나의 생산라인에서 여러 종류의 제품을 교대로 생산하는 혼류생산방식이 보편화 되었다. 하지만 흐름라인 방식의 혼류생산에서는 필연적으로 작업장 간의 공정시간 불균형이 존재한다. 따라서 이러한 공정불균형에 의한 대기의 낭비를 최소화하기 위하여 기존의 흐름생산방식에서 셀생산방식으로 전환하는 시도가 빈번하게 발생한다. 본 논문에서는 굴삭기 부품을 생산하는 혼류흐름라인 방식의 자동화 로봇 용접라인을 FMC 개념의 직선형 셀방식으로 전환하는 과정에서 타당성 검토를 위해 시물레이션을 수행한 사례연구 결과를 소개한다. 분석결과 26.7%의 생산량 증가와 55% 이상의 리드타임 감소효과가 예상되었다. 또한 향후 제품 생산비율의 변화에 따른 민감도분석을 수행하였다.

주요어 : 혼류생산, 셀생산방식, 굴삭기, 용접공정, 시물레이션, 자동화

1. 서 론

새로운 공정 라인을 구축하는 여러 기업들은 생산량을 증가시키기 위해 많은 대안들을 검토한다. 이 때 제시되는 대안들을 분석하기 위해서는 시간과 비용이 필요하며, 특히 신규 라인의 설계 단계에서 심사숙고를 하지 않는다

면 많은 비용을 들여 새로운 라인으로 교체하거나 배치(Layout)를 변경해야 한다.

특히 라인의 설계단계에서 가장 중요한 것은 배치 개념의 정립이다. 기본적인 배치개념에는 제품별배치(Product Layout), 공정별 배치(Process Layout)가 있고, 절충형으로 그룹별배치(Group Layout)가 있는데 일반적으로 제품 생산성은 제품별배치 형태가 가장 우수하다고 알려져 있다²⁾. 한편, 다품종 소량생산이 보편화 되면서 일본의 도요타 자동차를 비롯한 자동차 조립공장을 중심으로 개별 작업장(Station)에서 조립시간이 서로 다른 다품종 생산을 위한 방법론에 대해 많은 연구가 수행되었다⁷⁾. 하지

접수일(2013년 3월 4일), 심사일(2013년 6월 9일),
게재 확정일(2013년 6월 18일)

¹⁾ 창원대학교 산업시스템공학과

주 저 자 : 김혜정

교신저자 : 문덕희

E-mail; dhmoon@changwon.ac.kr

만 대부분의 자동차 조립공장에서는 여전히 흐름라인 형태의 제품별 배치를 고수하고 있다.

반면에 공정 내용이 비교적 단순한 작업장을 중심으로 셀(Cell) 생산방식이 널리 보급되기 시작하였다. 셀생산방식이란 기존의 흐름라인 방식에서 여러 사람이 담당하는 공정을 한 사람이 담당하도록 하는 개념을 기본으로 하고 있다^[1]. 이러한 셀생산방식은 전자제품 제조업체를 비롯하여 다양한 산업분야에 확산되고 있는데 신경육 등은^[9] 무기체계 정비공장의 해체공정에서 흐름생산방식을 셀생산방식으로 변경하였을 때 발생하는 효과에 대해 시뮬레이션을 이용하여 검증하였다.

셀의 개념과 자동화의 개념이 통합된 것이 유연생산셀(FMC: Flexible Manufacturing Cell) 방식이다. 일반적으로 FMC는 머시닝센터와 같은 두 대 이상의 자동화 설비와 부품을 공급하는 로봇(Robot) 혹은 무인운반차(AGV: Automated Guided Vehicle)로 구성이 되는데 원(Circle)형, 직선(Linear)형, U형 등 다양한 배치형태를 가지고 있다^[2].

FMC를 대상으로 하는 연구들의 많은 부분은 일정계획(Scheduling)에 대한 연구들인데 복수의 장비와 물류를 담당하는 로봇이 원형으로 구성되었을 때 일정계획을 수립하는 문제와^[4,10] 직선형 FMS의 일정계획을 다룬 연구들이^[3,5] 발표된 바 있다. Lu와 Wiens^[6]은 시뮬레이션을 이용하여 U형 FMC의 효과에 대해 검증한 논문을 발표하였으며, Savsar와 Aldaihani^[8]는 FMC를 신뢰성 측면에서 분석한 연구결과를 발표하였다.

본 논문에서는 증장비 하부 프레임을 용접하는 자동화 로봇라인을 기존의 혼류흐름생산방식에서 셀생산방식으로 전환할 때 시뮬레이션을 이용하여 타당성을 검토하고 발생하는 문제점을 예측하는 사례를 소개한다. 사례대상 기업은 기존 생산량을 30Units/Day에서 10% 이상 증가시키기 위해 시스템을 변경하려고 한다.

2. 대상 시스템의 특성

2.1 대상 제품

본 연구의 대상이 되는 제품은 Fig. 1과 같은 굴삭기의 하부회전체이다. 굴삭기 하부회전체는 굴삭기의 운전석을 포함하는 상부가 360도 회전을 할 수 있도록 하는 기능을 가지는데, 굴삭기의 크기 및 형상에 따라 4개의 그룹(Group)으로 구분하였다(이하 Type A, B, C, D로 표시한다). 생산비율은 약 3개월간의 실적을 평균 내어 사용하였고, Table 1은 1일 30대 기준으로 하여 생산비율을 나타낸 것이다.



Fig. 1. Example of lower center frame of excavator

Table 1. Production quantities of model types

Model	Type A	Type B	Type C	Type D
Percentage	23.2%	43.0%	9.4%	24.4%

2.2 현재 생산시스템의 개념(As-Is)

Fig. 2는 현재 적용하고 있는 공정의 흐름을 보여주는 데 전체 용접공정을 4개의 작업장(Station)으로 분할하여 흐름라인 방식으로 생산하고 있다(이하 4분할 흐름방식이라 칭한다). 즉 Fig. 3에 제시된 바와 같이 4대의 용접 로봇을 직렬 라인으로 구성하고 있으며, 전체 작업을 4개의 작업장으로 분할하여 용접을 수행한다. 특히 기존의 방식에서는 한 라인에서 여러 종류의 제품을 교대로 생산하는 혼류 생산방식을 적용하고 있기 때문에 각 생산품목에 따라 공정시간의 불균형이 발생하고 있다. 따라서 부득이 공간대기가 발생하게 되는데, 이 때 각 로봇 아래에 있는 스톡(Stock)에서 대기를 하게 된다. 각 대기장소(SC, S1~S4)는 1대를 저장할 수 있는 대기공간을 가지고 있으며, 출고를 하기 위한 Out-Stock(O/S)의 공간은 충분하다고 가정한다. 각 대기장소는 공용으로 사용하는 것이 아니라 Fig. 2에 표시된 바와 같이 각 공정별로 지정되어 있다. C/D(Centering Device)는 가접을 마친 제품이 해당 용접라인에 투입되기 위해서 대기하는 공간이다.

사례대상기업에서는 도요타생산방식을 적용하고 있기 때문에 선후 작업장에서도 생산순서가 동일하게 유지되어야 한다는 제약조건을 가지고 있다. 즉 C/D에서 입고된 순서대로 O/S에서 출고가 되어야 하는 제약조건이 적용된다. Type D 제품은 연속하여 3대를 생산하지 않는다는 접근금지조건을 적용하고 있다. 접근금지조건이란 혼류생산을 할 경우 동일한 작업장에서 각 제품별로 공정시간이 다를 경우 공정시간이 긴 제품이 연속적으로 투입되면 라인이 정지될 수밖에 없는 상황이 발생하므로, 이를 방지

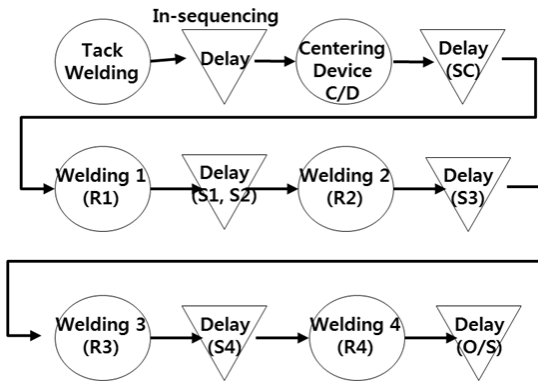


Fig. 2. Welding processes of lower C/F (As-Is)

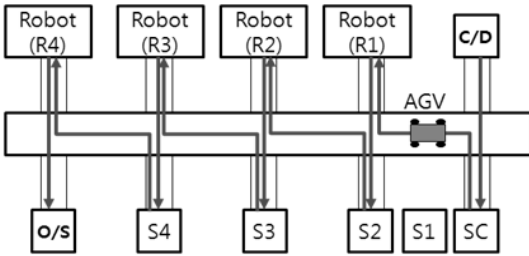


Fig. 3. Operation concept of welding shop (As-Is)

하기 위해 투입순서를 조절하는 것을 의미한다⁷⁾. 작업장의 물류를 담당하는 AGV(Automated Guided Vehicle)는 1대로 현재에도 AGV에 과부하가 걸리고 있어서 생산량이 증가하면 AGV를 증설해야 할 것이라고 예측한다.

2.3 개선 생산시스템의 개념(To-Be)

반면에 변경하고자 하는 셀방식은 4대의 용접로봇을 병렬 작업장 형태로 변경한 것으로, Fig. 4와 같이 기존에 4대의 로봇에서 나누어 수행하던 작업을 1대의 로봇에서 모두 수행할 수 있도록 하는 것이다. 제품은 Fig. 5에 제시되어 있듯이 C/D와 가깝고 비어있는 로봇부터 투입된다. 혼류생산에 따른 제품의 생산순서를 유지하기 위해 C/D에 투입된 순서대로 O/S에서 출고되도록 하기 위해 용접 공정 완료 후 대기가 발생한다. 이 때 O/S와 가까운 스톱부터 대기하도록 가정하였다. 이와 같은 개선안을 통하여 혼류생산에 따른 공정간 대기 줄일 수 있을 것으로 예측하며, 각 대기공간의 점유율도 줄어 들 것으로 추정할 수 있다. 또한 AGV의 가동률도 감소하여 생산량이 증가되더라도 추가로 AGV를 설치하지 않아도 될 것으로 예상하였다.

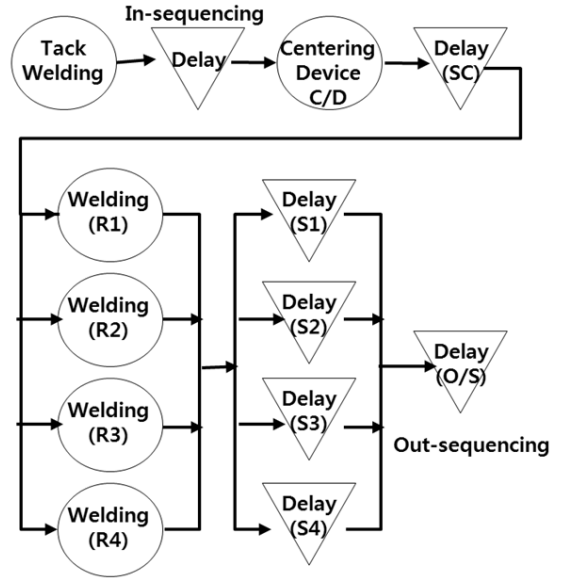


Fig. 4. Welding processes of lower C/F (To-Be)

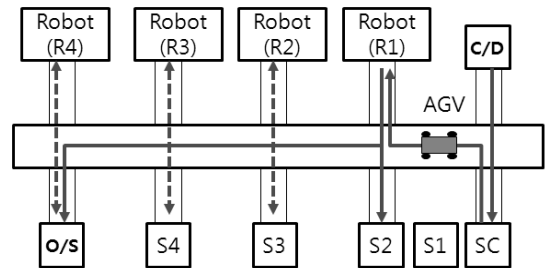


Fig. 5. Operation concept of welding shop (To-Be)

기존의 흐름라인형 분할용접방식을 한 로봇에서 모든 용접을 수행하는 셀 방식으로 전환할 경우 우려되는 점은 용접 지그(JIG)의 추가 제작이다. 하지만 다행스럽게도 이 회사 용접공정에서는 유니버설 지그 시스템을 도입하고 있어서 추가적인 지그 제작이 필요하지 않는 상황이다.

2.4 AGV 시스템

공정과 공정 사이의 제품이동을 도와주는 AGV는 한 대로 운영되며, Fig. 6과 같이 좌우로 움직이는 Main AGV와 전후로 움직이는 Shuttle AGV가 결합된 형태로 구성된다. AGV 이동시간은 가·감속도, 등속도와 이동 거리를 고려하여 자동으로 계산된다. Shuttle AGV의 경우 로봇과 스톱에서 제품을 투입>Loading) 하고 반출>Unloading) 작업을 한다.

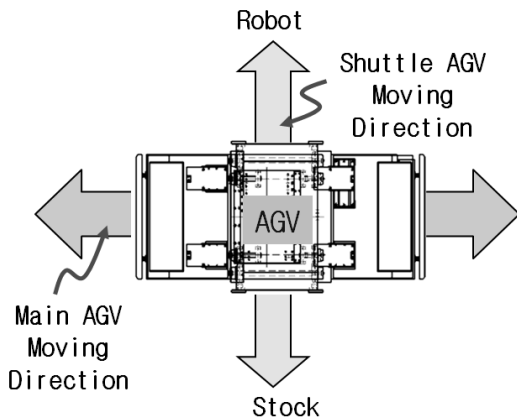


Fig. 6. Structure of AGV and moving directions

- 로봇 방향 이동시간 : 42sec
- 스톡 방향 이동시간 : 32sec
- C/D 방향 이동시간 : 32sec
- Shuttle AGV의 Loading/Unloading 시간
 - 로봇측 방향 : 42sec
 - 스톡측 방향 : 21sec
 - C/D측 방향 : 24sec

Table 2. Cycle times of tack welding and robot welding

	Tack welding time	Robot welding cycle times (min)				
		Robot 1	Robot 2	Robot 3	Robot 4	Total
Type A	29.5	22.1	23.5	24.4	22.0	92.0
Type B	31.7	27.4	29.5	29.0	30.5	116.4
Type C	37.7	30.7	32.3	30.9	30.4	124.3
Type D	38.8	32.3	33.1	32.6	28.8	126.8

3. 입력자료

3.1 공정 소요시간

공정소요시간은 C/D(Centering Device)로 공급되기 전 가접(Tack Welding) 공정시간과 용접 로봇에서의 공정시간을 조사하였다. Table 2는 4가지 제품군별로 현재 시스템에서 수행되고 있는 작업의 공정 소요시간이다. 용접공정 소요시간은 기존의 4분할 방식을 기준으로 작성하였으며, 개선안인 셀생산방식에서는 4개 공정소요시간의 합으로 공정시간을 정의하였다. 용접공정의 공정소요시간은 자동화공정이기 때문에 확정적 값으로 사용하였다.

3.2 AGV 이동시간

AGV 이동시간은 속도와 이동거리를 고려하여 자동으로 계산되는데 입력자료로 활용된 AGV의 속도는 아래와 같다.

- Main AGV 속도 : 40 m/min
- Shuttle AGV 속도 : 6 m/min을 기준으로 진행방향에 따라 변경되는데 소요시간은 아래와 같다.

3.3 로봇의 Down Time

로봇의 정지시간(Down Time)은 Tool 교체시간, 고장 시간, 대기시간으로 구분되어진다. Tool 교체시간과 고장 시간은 입력요소이며, 대기시간은 운영방식에 의해 시뮬레이션 과정에서 결정되는 결과이다. Tool 교체시간은 작업표준에 의해 결정되며, Table 3과 같은 8가지 요소를 반영하였다. Tool 교체주기는 시간기준이 아닌 수량기준으로 정의하였다. 두 가지 이상의 요소가 동시에 발생하는 경우의 작업시간은 각 요인별 교체시간의 합으로 설정하였다.

로봇 고장시간은 Tool 교체시간과는 달리 장비의 고장에 기인하는 시간이다. 이 요소를 시뮬레이션에 반영하기 위해서는 MTTF(Mean Time To Failure) 및 MTTR (Mean Time To Repair)의 분포를 결정해야 한다. 따라서 약 1년간 과거의 고장 데이터를 이용하여 분포를 추정하였는데, 분석결과 로봇별로 고장의 차이가 다소 발생하였지만 4대를 동일한 것으로 보고 평균을 적용하였다. MTTF는 로봇당 평균 12일에 1회 고장이 발생함을 알아냈고, 지수(Exponential) 분포로 가정하였다. 반면에 MTTR은 수리 시간 데이터를 바탕으로 분석한 결과 평균 2.42시간이 소요되는 것으로 분석되었으며, Fig. 7과 같이 ARENA의

Table 3. Tool change frequencies and times of robots

	As-Is		To-Be	
	Frequency	Cycle time	Frequency	Cycle time
Tip and torch check	1 unit	3 min	1 unit	3 min
Other calibration	20 units	10 min	5 units	10 min
Wire	72 units	15 min	18 units	15 min
Spring liner	360 units	10 min	90 units	10 min
TCP revision	600 units	15 min	150 units	15 min
Hose package	800 units	20 min	200 units	20 min
Torch change	1400 units	20 min	350 units	20 min
Long liner	2000 units	25 min	500 units	25 min

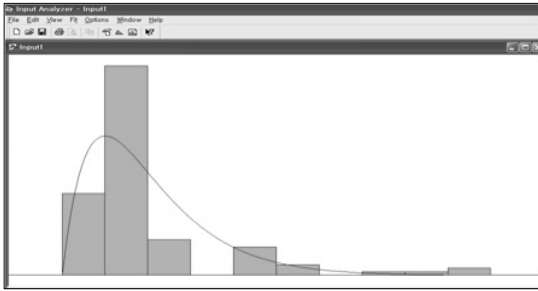


Fig. 7. MTR distribution of robot failure

Input Analyzer를 이용해 분포를 추정한 결과 Erlang 분포가 적합한 것으로 분석되었다.

3.4 제품별 접근금지조건

제품별 접근금지조건은 4가지 제품 중에서 Type D 제품에만 적용되는데, Type D 제품은 연속하여 3대를 생산하지 않는다는 접근금지조건을 가진다.

4. 시뮬레이션 모델 개발 및 실험

4.1 시뮬레이션 모델 개발

시뮬레이션 모델은 ARENA를 사용하여 개발하였다. 제품은 접근금지조건을 지키면서 생산비율에 맞게 생산하도록 한 뒤 가접공정을 거쳐 C/D에 투입하였고, 시스템 운영에 필요한 명령 체계 및 신호 체계를 정의하여 AGV의 이동경로를 정의하였다. 그리고 시뮬레이션 진행 상황을 Excel로 실시간 모니터링 할 수 있도록 개발하였다.

시뮬레이션을 통하여 얻고자 하는 출력자료는 다음과 같은 것으로 결정하여 모델링에 반영하였다.

- 로봇 가동률
- AGV 가동률
- 스톱의 사용률
- 총생산량 및 모델별 생산량
- 제품 별 Lead Time

개발된 모델의 검증을 위해 실제 공정의 Process와 시뮬레이션 논리를 비교하고, 개발된 시뮬레이션 모델을 실험한 결과와 입력 자료를 토대로 이론적으로 추정한 결과를 비교하여 모델의 신뢰성을 확보하였다. Fig. 8은 개발된 시뮬레이션 모델의 애니메이션 수행화면이다. As-Is 모델과 To-Be 모델이 각각 개발되었는데 애니메이션 화면은 Fig. 8과 같이 동일하다.

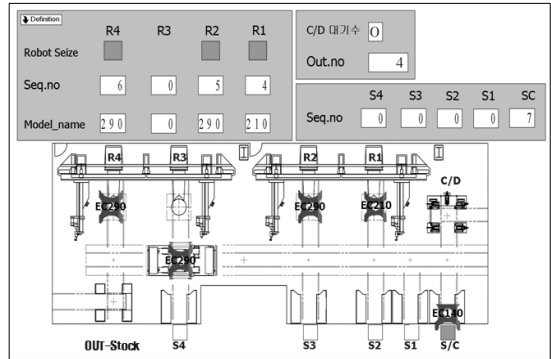


Fig. 8. Snapshot of simulation

4.2 실험 조건

시뮬레이션은 Warm-up Time 1개월을 포함하여 총 4개월간 수행하였으며, 1일 운영시간은 Robot 용접공정 21시간, 가접공정 20.5시간, 한 달 24일을 기준으로 하였다. 각 모델에 대해 반복실험 횟수는 10회로 하였다.

5. 실험결과

5.1 1차 실험 결과

1차 실험은 기존의 4분할 흐름방식과 셀 방식에 대해 각각 실험을 수행하였다. 실험 결과는 Table 4와 Table 5에 제시된 바와 같다. 기존 생산방식 (As-Is)의 실험결과 1일 생산량은 평균 29.1대로 분석되어 현재 공장의 실제 생산실적과 유사한 결과를 얻었다. 따라서 시뮬레이션 모델의 타당성에는 문제가 없는 것으로 결론을 내렸다. As-Is 모델에서 스톱의 점유율이 매우 높은 것으로 나타났다. 이에 따라 로봇에서 용접작업을 마친 제품이 대기장소가 없어서 반출되지 못하고 로봇에 머물러 있는 상황이 빈번하게 발생하였다. 또한 AGV 가동률도 78.5%로 높아서 AGV를 기다리기 위해 로봇 및 스톱에서 대기하는 경우도 자주 발생하였다.

반면에 To-Be 모델에서는 하루 생산량이 평균 36.9대로 As-Is 모델에 비해 7대 증가하여 26.7%의 생산성 향상 효과가 예측되었다. AGV가동률의 경우 78.5%에서 25.6%로 대폭 감소하여 AGV 대기로 인한 지체가 완전히 해소되었으며, 스톱 가동률도 거의 0%에 가까워서 스톱이 부족하여 로봇에서 완성품을 반출하지 못하는 문제점도 해결되었다. 로봇 가동률의 경우에 As-Is 모델과 To-Be 모델의 차이가 없어 보이는데, 이는 시뮬레이션 모

Table 4. Results of simulation (Daily throughput :Unit)

	As-Is		To-Be	
	Mean	95% C.I.	Mean	95% C.I.
Type A	7.02	±0.16	8.69	±0.23
Type B	12.91	±0.18	15.82	±0.23
Type C	2.78	±0.09	3.50	±0.14
Type D	7.19	±0.23	8.86	±0.23
합계	29.91	±0.24	36.87	±0.06

Table 5. Results of simulation (Utilizations : %)

	As-Is		To-Be	
	Mean	95% C.I.	Mean	95% C.I.
AGV	78.51	±1.19	25.55	±0.12
Robot 1	89.00	±0.18	88.25	±0.25
Robot 2	88.27	±0.31	87.68	±0.46
Robot 3	87.54	±0.45	85.95	±0.26
Robot 4	85.44	±0.30	83.79	±0.37
Stock 1	92.10	±0.21	0.00	±0.00
Stock 2	86.08	±1.44	0.00	±0.00
Stock 3	66.02	±4.78	0.13	±0.02
Stock 4	33.51	±9.46	3.97	±0.10

Table 6. Results of simulation (Lead Time : min)

	As-Is		To-Be	
	Mean	95% C.I.	Mean	95% C.I.
Type A	266.4	±4.67	110.3	±0.35
Type B	293.7	±2.86	128.7	±0.23
Type C	301.6	±3.12	134.3	±0.39
Type D	300.4	±3.23	136.7	±0.25

델을 개발하는 과정에서 용접작업이 끝난 제품이 AGV나 스톡의 제약으로 인해 반출되지 못하는 경우 로봇을 그대로 점유하여 사용하는 것으로 계산되기 때문이다. 따라서 As-Is의 순수한 로봇의 가동률은 생산량이 증가한 만큼 차감해서 생각하는 것이 타당하다. 제품이 C/D에 도착해서부터 용접공정을 완료하고 작업장을 떠날 때까지 소요된 시간인 Lead Time 도 Table 6에 제시된 바와 같이 제품별로 As-Is 모델에 비해 55%이상 감소하여 제품의 총 생산시간 단축에도 긍정적인 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

Table 7. Changes of cycle times (min)

	To-Be	Final	Increment
Type A	92.0	92.0	0.0
Type B	116.4	119.0	2.6
Type C	124.3	143.0	18.7
Type D	126.8	145.0	18.2

Table 8. Comparison of To-Be model and final model

	Daily throughput(Unit)		Lead time (min)	
	To-Be	Final	To-Be	Final
Type A	8.69	8.70	110.3	139.8
Type B	15.82	15.83	128.7	154.7
Type C	3.50	3.49	134.3	174.3
Type D	8.86	8.87	136.7	176.7
합계	36.87	36.89		

5.2 2차 실험 결과

1차 실험 결과 기존의 직렬형 분할생산방식에서 셀 생산방식으로 변경하였을 때 생산량이 26.7%가 증가함을 알 수 있었다. 또한 로봇의 가동률에도 다소의 여유가 있음을 알 수 있었다. 따라서 현재 4분할 흐름방식의 균형을 위하여 외작업으로 처리했던 일부 공정을 내작업으로 포함시켰다 (이 모델을 최종모델(Final Model)이라고 정의한다). 그 결과 각 제품의 용접시간이 Table 7과 같이 증가하였다.

반면에 생산량은 Table 8에 제시된 바와 같이 변화가 없어 외작업을 내작업화 시켜도 아무런 문제가 발생하지 않음을 알 수 있었다. 이 경우에 로봇의 평균가동률은 87%대에서 91%대로 다소 증가하였으나 현실적으로 자동화 용접라인의 가동률 상한선이 90% 대에서 유지된다는 점을 고려할 때 큰 문제는 없을 것으로 판단하였다. Lead Time은 공정시간의 증가폭에 비해 다소 많이 증가하였지만 As-Is 모델에 비해서는 여전히 40% 정도 감소한 효과가 있었다.

5.3 민감도 분석

민감도 분석은 4종류의 제품별 생산비율의 변화가 있을 것이라는 가정하에 Table 9와 같이 5개의 시나리오를 마련하여 생산비율을 변화시켜가면서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과는 Table 10에 제시하였는데, Case 5의 경우만 목표 생산량인 36대를 달성하지 못하였

Table 9. Production percentages for sensitivity analysis (%)

	Type A	Type B	Type C	Type D
Final	23.2	43.0	9.4	24.4
Case 1	10.6	63.1	7.7	18.5
Case 2	18.2	55.3	8.9	17.6
Case 3	18.8	41.0	11.6	28.6
Case 4	12.1	51.6	9.1	27.3
Case 5	16.7	37.2	12.3	33.8

Table 10. Daily throughputs of sensitivity analysis (unit)

	Type A	Type B	Type C	Type D	Total
Final	8.70	15.83	3.49	8.87	36.89
Case 1	3.92	23.22	2.73	6.77	36.65
Case 2	8.70	15.83	3.49	8.87	36.89
Case 3	6.92	14.79	4.30	10.27	36.28
Case 4	4.43	18.62	3.37	9.68	36.08
Case 5	6.05	13.10	4.53	12.00	35.68

다. 그 이유는 로봇 용접시간이 가장 큰 Type D 제품의 비율이 9%정도 증가하였기 때문이다.

로봇의 평균가동률은 90% 정도로 최종모델과 큰 차이가 없었다. 또한 AGV의 가동률은 약 31%로 분석되어 향후 제품생산비율이 변경되더라도 추가적인 설비의 증설이 필요하지 않은 것으로 분석되었다. 하지만 만일 Type D 제품의 생산비율이 더 증가된다면 현재의 설비는 정상적인 생산을 할 수 없게 될 것이다. As-Is 모델에서 문제점으로 지적되었던 스톱의 가동률도 셀방식으로 전환하면 어떤 경우에도 문제를 야기하지 않아 추가 증설이 필요 없는 것으로 분석되었다.

Lead Time은 C/D에서 투입되는 순간부터 용접이 완료되어 O/S에 도착하는 순간까지 소요되는 시간으로 정의하였는데, Case 별로 다소 차이가 발생하는데, 순수한 용접소요시간의 121%~160% 정도인 것으로 분석되어 Cell 방식에서의 전환이 Lead Time의 감축에도 도움이 되었다. 평균적으로 용접시간이 짧은 Type A 제품의 Lead Time 증가율이 높은 반면, 용접시간이 긴 Type C, Type D 제품의 Lead Time 증가율은 낮은 편이었다.

6. 결 론

본 논문에서는 굴삭기를 생산하는 국내 업체의 하부프

레임 자동화 용접라인을 대상으로 시뮬레이션을 수행한 사례를 소개하였다. 많은 기업들이 도요타생산방식을 적용하면서 자동차 조립라인에 활용되는 직렬작업장으로 구성된 흐름형 혼류생산방식을 채택하고 있다. 하지만 이러한 방식이 항상 효율적인 것만은 아니다. 자동차 최종 조립라인의 경우 작업내용이 매우 복잡하기 때문에 불가피하게 100개 이상의 작업장(Station)으로 구분할 수밖에 없다. 하지만 본 연구의 대상인 용접작업장의 경우에는 자동화라인이기 때문에 작업 내용이 복잡하더라도 한 공정에서 모든 일을 마무리할 수 있다. 따라서 구태여 4개의 작업장으로 세분화하여 흐름작업을 할 필요가 없다.

시뮬레이션을 이용하여 분석한 결과 현재의 4분할 흐름방식을 셀방식으로 전환할 경우에 동일한 설비를 이용하여 생산량을 26.7% 증가시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 Lead Time도 대폭 감소하였다. 당초 검토하였던 AGV의 증설, 스톱의 증설도 무의미한 것으로 결론을 얻었다. 또한 기존에 작업장간의 균형을 위해 외작업 처리를 했던 것을 내작업화 시킴으로써 원가절감도 이룰 수 있었다.

한 가지 우려되었던 점은 기존 방식에서는 로봇이 연속적으로 용접을 수행하는 시간이 20~30분 정도였으나 셀방식으로 전환할 경우에는 92분~147분까지 길어져서 로봇자체의 피로에 따른 문제점이 발생하지 않을까 하는 것이었다. 하지만 기술적 검토결과 큰 문제는 없는 것으로 예상되었으며, 실제로 생산방식을 변경하여 생산을 수행한 결과 이러한 우려는 큰 문제가 되지 않는 것으로 판명되었다. 생산효율을 높이기 위해 추가적으로 고려할 수 있는 내용은 정밀한 일정계획 수립 시스템과 AGV 운영 시스템을 개발하면 로봇이 AGV를 기다리는 낭비시간을 줄임으로써 생산성을 추가적으로 높일 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 2012년 한국시뮬레이션학회 춘계학술대회에서 발표한 논문을 보완한 것임.

References

1. (Korean)사카마키 히사시 (삼성전자 디지털미디어총괄 제조기술센터 역), 「캐논방식의 셀생산시스템」, 동양문고, 서울, 2006.
2. (Korean)황학 외 6인, 「설비계획론」, 영자문화사, 서울, 2001.
3. Akturk, M.S., Gultekin, H. and Karasan, O.E., “Robotic Cell Scheduling with Operational Flexibility”, Discrete

- Applied Mathematics, Vol. 145, (2005), pp. 334-348.
4. 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, Vol. 206, (2010), pp. 623-633.
 5. Gultekin, H., Akturk, M.S. and Karasan, O.E., "Scheduling in Three Machine Robotic Flexible Manufacturing Cell", Computers & Operations Research, Vol. 34, (2007), pp. 2463-2477.
 6. Lu, M.S. and Wiens, G.J., "Predictive Pull Based Control of Unmanned Manufacturing Cells, Accounting for Robot Mobility", Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 18, (2002), pp. 83-94.
 7. Moon, D.H., Song, C. and Ha, J.H. "A Dynamic Algorithm for the Control of Automotive Painted Body Storage", Simulation, Vol. 81, (2005), pp.773-787.
 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 Safety, Vol. 93, (2008), pp. 1551-1562.
 9. Shin, K.W., Lee, G.H. and Moon, D.H., "A Simulation Study on the Overhaul Repair Shop of Weapon System", Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 20, No. 3 (2011), pp.119-127.
 10. 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, Vol. 17, No. 4 (2008), pp. 249-257.



김 혜 정 (bs6436@naver.com)

2012 창원대학교 산업시스템공학과 공학사
2012~현재 창원대학교 산업시스템공학과 석사과정

관심분야 : 생산시스템 설계, 물류시스템 분석, 시뮬레이션 응용



이 승 우 (hanly12@nate.com)

2013 창원대학교 산업시스템공학과 공학사
2013~현재 창원대학교 산업시스템공학과 석사과정

관심분야 : 생산시스템 설계, 물류시스템 분석, 시뮬레이션 응용



문 덕 희 (dhmoon@changwon.ac.kr)

1984 한양대학교 산업공학과 공학사
1986 한국과학기술원 산업공학과 공학석사
1991 한국과학기술원 산업공학과 공학박사
1990~현재 창원대학교 산업시스템공학과 교수

관심분야 : Facilities Planning, 시뮬레이션 응용, Scheduling