

흐름생산 공정에서의 작업 대기시간을 고려한 공정 개선 상한선 도출 : H 사의 공정 개선 계획안 시뮬레이션 사례를 중심으로

송영주^{1*} · 우중훈² · 이동건¹ · 신종계¹

A Simulation Study for Evaluation of Alternative Plans and Making the Upper-limit for Improvement in Productivity of Flow-shop with Considering a Work-wait Time

Song Youngjoo · Woo Jonghun · Lee Dongkun · Shin Jonggye

ABSTRACT

The design of best efficient production process is common requirements of *the production strategy department* and *the process planning department* to maximize the revenue and accomplish target production volumes in the production periods. And they use several general methods for that - line-balancing, removing of the bottle-neck process, facility ramp-up , increasing of the worker's utilization, etc. But, those methods have depended on analytic, static and arithmetic calculations, yet. So, irregular work-waiting time causing the delay time isn't include in extracting production capacity, especially in the line production process. The work-waiting time is changed irregularly along the variation of each machine and very important for calculate real product lead-time and forecasting target production volumes.

At this thesis, i'm going to mention the importance of the delay time of conveyor system which can be extracted by discrete-event simulation. And suggest it as a new main variable that must be considered at designing new production system. Then experimented and tested that's effects in the H-company case, conveyor based line production process.

Key words : Process improvement, Process variable, Work-waiting time, Line process, Discrete event Simulation

요 약

공정 개선의 문제는 원가 절감,수익구조 개선을 목표로 하는 생산 전략부서, 생산 계획에 의해 제시된 제품의 목적 생산량을 달성할 수 있는 공정 설계하고자 하는(설계 공정 능력, Tact time) 공정 설계 부서의 공통 요구사항이다. 목표하는 생산량을 달성하기 위해 작게는 라인밸런싱(Line-Balancing), 병목공정 제거를 수행하고 있으며, 크게는 설비 증설, 작업자 증원 등의 공정 개선을 시도한다. 문제는 대부분의 경우, 공정 개선 프로세스가 정적 예측 기반의 수리적인 방식에 기인하고 있다는 점이며, 특히 라인 생산 기반의 컨베이어 공정의 경우, 컨베이어의 이송 능력에 따른 대기시간 부분이 배제되고 있다는 것이다. 공정 대기시간은 설비의 정미시간과는 별개의 문제로 설비의 사이클 타임(Cycle Time)의 수치에 따라 변동하는 변수로서 중요하다. 이에 본 논문에서는 H 사의 컨베이어 라인 공정을 대상으로 이산 사건 기반의 시뮬레이션을 수행하여 일련의 공정 개선 프로세스를 밝아가며, 컨베이어에 의해 발생하는 공정 대기시간의 공정 개선에의 기여도를 측정하여 공정 개선의 주요 변수로서 제시하고자 한다.

주요어 : 이산사건 시뮬레이션, 공정 변수, 공정 개선, 대기시간, 흐름생산

2008년 4월 15일 접수, 2008년 5월 24일 채택

¹⁾ 서울대학교 조선해양공학과

²⁾ 다쏘 시스템즈

주 저 자 : 송영주

교신저자 : 송영주

E-mail; syj092@snu.ac.kr

1. 서론

최근 제조업계는 한정된 자원과 변화하는 시장 상황에 효율적이고 유연하게 대응할 수 있는 생산 시스템 설계를 기업의 초미의 관심사로 지적하고 있다. 이에는 유한 능력 생산 계획, 즉 현재의 여건 하에서 추가적인 투자 없이 최대의 이윤을 낼 수 있는 생산계획을 통해, 불필요한 자원 투입을 줄이고, 높은 생산성을 달성하고자 하는 제조업 불변의 목적의식이 포함된다.

하지만, 실제로 많은 경우에 있어, 라인 설계자로부터 제시되는 생산 라인의 설계 능력이 실제 현장에서의 공정 능력과 달라, 수시로 잔업을 실시하거나, 기보유하고 있는 재고 물량으로 계획 생산량의 부족 부분을 채우고, 나아가 항상 적정 재고 분량을 비축하는 등의 현상을 쉽게 발견할 수 있다. 이는 수요 예측, DBR(Drum-Buffer-Rope) 스케줄링 기반의 재공재고 감축 등의 노력에 역행하는 것으로, 부정확한 공정 능력 파악으로부터 발생하는 자원 낭비의 문제로 요약된다.

본 논문에서 언급하고자 하는 것은, 기술한 주요 문제들의 출발점이 되는 ‘공정 능력’ 파악의 문제이다. 이는 생산 계획 및 공정 계획의 입력 데이터로서, 제시된 공정 능력을 바탕으로 산출되는 생산 계획 데이터의 정합성 문제와 직결된 것으로 중요하며, 고정 변수인 공정 능력이 잘못 제시될 경우, 차후의 모든 프로세스의 산출물은 오차 범위에서 크게 벗어나게 되어 계획 정보로서의 가치가 크게 떨어진다.

이에, ‘공정 능력 및 공정 개선’에 관한 기존 방법론을 검토한 후, 실제 ‘H’ 사의 컨베이어 조립라인을 대상으로 이산 사건 기반의 공정 모델링(Production process modeling and simulation based on discrete event)을 수행하여, 계획하고 있는 공정 개선 시나리오를 검토한 후 공정 개선 방안과 공정 능력 예측에 있어 간과되기 쉬운 변수를 지적하고자 한다.

컨베이어 공정은 연속생산/흐름 생산의 자동화 생산 라인에 해당한다. 또한, 여타의 공정에 비해 공정 능력 산출 및 예측에 있어 월등한 정합성을 보이는 것으로 평가되고 있다. 따라서 해당 공정을 면밀히 분석하여 제시된 ‘작업 대기 시간’ 변수는 실제로 ‘공정 능력’이 잘못 예측되는 현상에 대한 원론적인 해결 방안이 될 수 있을 것이라고 기대한다.

단, 우리는 가능한 공정 데이터 모두를 모델에 충실히 반영함을 기본으로 하였으며, 관련된 모든 절차는 문제 정의 및 시스템 분석, 모델링 및 모델 검토, 모델 검증 및 결과 해석으로 이어지는 시뮬레이션 방법론을 기반으로 하였다.

2. 공정 설계와 공정 능력 결정

2.1 공정 설계 및 라인 능력 결정

라인공정은 설비, 작업자 등의 생산 공정의 주요 구성 요소가 공정 순으로 연속적으로 배치된 흐름 작업의 형식의 공정이다. 이상적인 라인에서의 가공품은 균형 있는

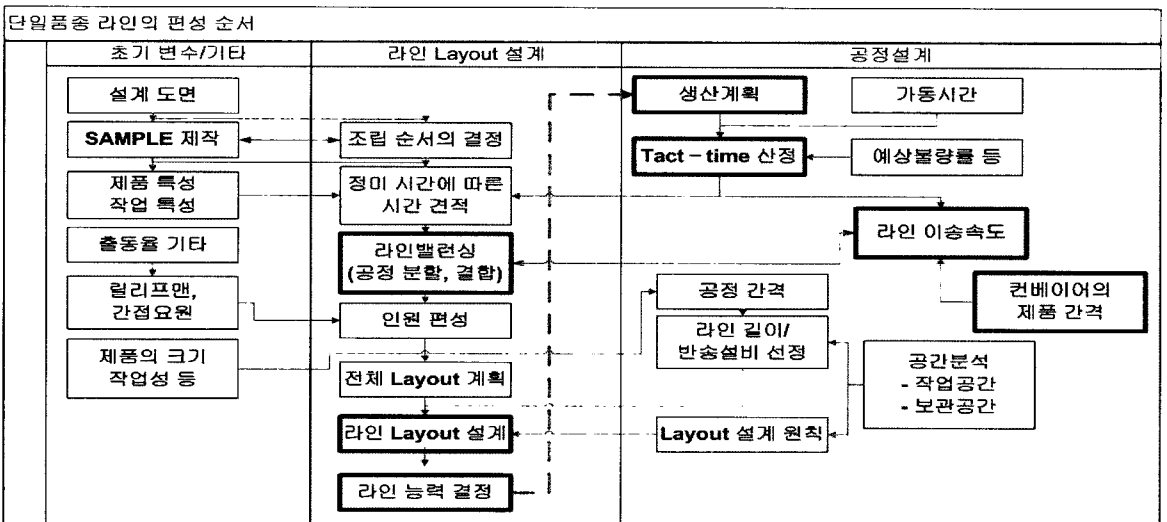


그림 1. 단일품종 라인의 설계 프로세스

일련의 작업공정을 일정속도로, 직선경로를 따라 완성방향으로 이동할 수 있어야 하며, 라인전체가 동시작업을 행할 수 있는 조건을 갖추고 있다.

실제로 공정 설계자는 불필요한 재공품을 적게 유지하며 표준 작업 수행이 가능하도록 공정 평균화작업을 수행하며, 시장에서 요구하는 단위 생산량에 부응할 수 있는 택트타임(Tact-time)과 단위 셀을 결정한다.(그림 1)

일반적으로 라인의 편성 효율은 공정시간이 가장 긴 설비의 공정 시간(Neck Time)이 대표값이 되며, 라인밸런싱(Line Balancing)이 되어있을 수록 편성효율이 높게 나타난다. 조업 시간은 작업 시간을 의미하며, 라인 가동율은 조업 시간 중 설비 또는 라인이 가동된 비율을 나타낸다.(수식 1,2)

$$Tact\ Time(복수\ 기계) = \frac{\text{실동시간(분/일)}}{\text{생산량(개/일)}} = \frac{\text{조업시간(분/일)} \times \text{라인가동율} \times \text{양품율}}{\text{생산량(개/일)}}$$

$$Tact\ Time(단일\ 기계) = \text{셋업시간} + \text{실동시간} + \text{제품반입/반출시간}$$

$$\text{목표생산량(개/일)} = \frac{\text{실동시간(분/일)}}{Tact\ Time(분/개)}$$

수식 1. 단일 품종 라인의 Tact Time 과 목표생산량

$$\text{편성효율(\%)} = \frac{\sum(\text{각공정의작업시간})}{\text{neck 공정작업시간} \times \text{공정수}} \times 100$$

$$\text{작업시간}(time) = \text{제품투입} + \text{설비내공정} + \text{제품철수}$$

수식 2. 단일 품종 라인의 편성효율(%) 및 작업시간

라인밸런싱은 개별 설비 별 작업시간의 편차를 작게 함을 의미하며, 공정 내 낭비요소의 최소화 함을 목적으로 한다. 실제로 적정 수준의 라인밸런싱을 수행할 경우, 설비의 작업 능력에 대한 편차가 작아져 물류 흐름이 원활해지며, 특정 설비의 작업시간이 전체 공정의 작업시간을 대표할 수 있을 정도의 공정 표준성을 보인다. 또한, 제품의 UPH(unit per hour)가 공정 내 어느 설비에서나 유사하게 유지되어 JIT 생산이 가능하다.

문제는, 대부분의 경우 라인밸런싱된 공정 작업시간 평균값을 라인 공정의 수행 가능한 공정 능력으로 간주한다는 것이며, 실제로 많은 라인 설계자는 수식 1과 2에 기반한 산식에 근거하여 목표 생산량을 생산량으로 하여, Tact time을 결정한 후, 해당 값을 공정 개선의 목표치로 할당하여 “Tact time = Neck 공정 작업시간 = Line Balancing의 공정시간 평균값” 이라는 약식 산술식에 근거하여 공

정 개선 프로젝트를 기획/수행하고 있는 경우가 많았다.

2.2 라인 안정화와 공정 대기시간

2.1절의 공정 설계 결과가 진행되어 라인이 안정화되었을 경우, 즉 더 이상 작업시간이 공정능력의 주요 변수가 아닐 경우, 작업 대기시간(제품이 도착할 때까지 대기하는 시간)이 공정 능력 결정의 주요 변수로 지적될 수 있다. 작업 대기시간은 설비의 작업시간의 길이에 따라 변동성을 보이며, 컨베이어 속도 및 길이 등에 따라 달라지므로 일반적으로 정의할 수 없는 변수로 간주하여 공정 표준시간을 결정할 시 정미시간에 적정 안전계수를 더한 수치를 여유시간으로 하여 공정 표준시간을 정하고 있다.

$$\text{표준시간}(Time) = \text{정미시간} + \text{여유시간}$$

$$\text{여유시간}(Time) = \text{정미시간} \times \alpha \quad (0 < \alpha < 1)$$

수식 3. 표준시간과 여유시간

단, 고도의 수요 예측에 의해 단위 시간당 생산량을 결정하여 납품하는 기업 혹은 최근의 자동차 회사 등에서처럼 주문 생산(pull type production)(그림2)의 형식을 갖는 공정의 경우, 정확한 공정 능력 예측이 곧 비용과 낭비의 최소화 문제와 직결되기에, 앞서 지적한 작업 대기 시간 혹은 기타의 공정 변수를 단지 여유시간으로 산정하는 데는 무리가 있게 된다.

3. 이산사건 시뮬레이션을 바탕으로 한 사례 공정 모델링

2절에서 논의한 바를 기초로 그림 3과 같은 일종의 반도체 가공라인을 사례 공정으로 하여 공정 설계 정보 검증, 설계된 공정 능력 검증 및 추가 개선 사항 리포팅을 목적으로 이산 사건 시뮬레이션을 수행하였다.



그림 2. 자동차 조립라인(예시)

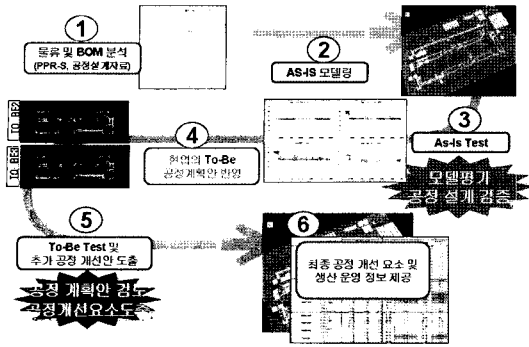


그림 3. 공정 모델링 및 공정 요소 분석 프로세스

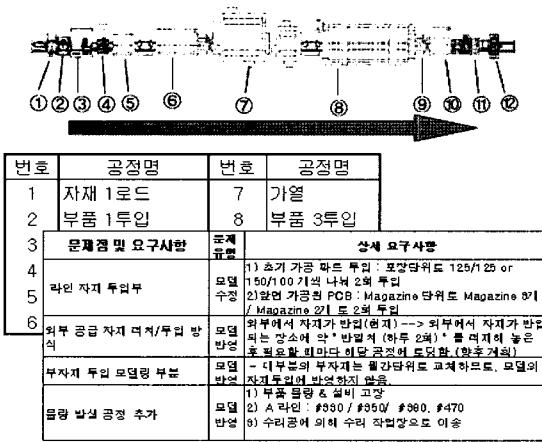


그림 4. 공정 설계 자료 및 물류 분석

사례 공정은 단일 제품을 생산하며, 컨베이어를 중추로 41개의 가공 기계들이 'U' 라인으로 배치되어 있으며. 그 중 5개의 검사공정과 2개의 조립 공정은 작업자가 개별 배치되어 반복적인 작업을 수행하고 있으며, 평준화 및 표준 작업 수행이 용이한 전형적인 라인 공정이다.

현장의 공정 담당자는 공정 설계 결과와 공정 개선안에 대한 시뮬레이션 상의 검토를 요구하였으며, 공정 개선(설비 투자 포함)에 대한 열의가 높아 비교적 자유도 높은 시뮬레이션을 수행할 수 있었다.

3.1 공정 모델링 및 데이터 정교화

일차적으로 대상 공정의 물류 및 공정 설계 자료, 제품의 제조 부품명세서(Manufacturing bill of material), 제품 생산 계획을 바탕으로 공정 모델링을 위한 PPR-S(Product, Process, Resource, Schedule) 를 구조화하였으며, 조립 공정의 부품별 조립수량, 부품 포장단위 및 부품 박스의 공급주기, 설비의 작업시간과 불량률(그림5), 작업자

공정 순차번호	처리 단위	단위가공 소요시간(초)			정확도 ○양호 ●보통 ●불량	비고	
		1회	2회	3회			
#300	①						
	②	1SET	12'29	13'15	12'48	○	C/T
#910	③	-	1'34'60	1'33'72	1'39'90	○	C/T
	④	-	3'06	3'00	3'07	○	C/T
	⑤	-	4'60	4'63	4'62	○	C/T
	⑥	-	24'41	24'06	24'22	○	C/T
#920	⑦	1SET	28'48	28'79	28'39	○	C/T
	⑧	-	12'05	12'16	12'17	○	C/T
#330	⑨A	45'07	44'24	46'91	○	C/T	
	⑩	36'63	30'22		●		
#340	⑪	7'07	6'86	7'00	○	C/T	
	⑫A	2'56'09	2'56'19	2'56'18	○	C/T	
	⑫B	6'42	6'77		○	C/T	
#360	⑬A	36'19	36'55	36'18	○	C/T	

그림 5. 단위 공정 소요시간 및 불량률 측정

작업자 이동/대차 이동 속도 측정(10mm 기준),						
순번	구분	1회	2회	3회	4회	비고
1	보통 걸음 (10mm기준)	6'77	6'75	6'80		
2	공(空) 대차 이동 (10mm기준)	7'69	7'38	7'51		
3	완제품 대차 이동 (10mm기준)	8'22	8'77	9'45		
4	완제품 대차에 로딩	1'29'69	50'72	53'00		10 box /1대차 (완제품 기준)
	완제품 대차로부터 언로딩	45'39	49'97	-		
5	대거진 로딩	23'89	23'16	22'19		
	대거진 언로딩	23'10	22'68	23'38		
	대거진 대차 이동 (10mm기준)	9'62	9'26	9'96	9'34	

그림 6. 작업자 작업 부 모달스 측정

의 작업 형태를 모달스 측정(그림6) 하여 모델의 입력자료로 관리하였다. 또한, 자료 조사 과정에서 발생하는 물류 분석의 요구사항들의 데이터를 공정별로 정리하여 모델 로직 작성 및 분석 프로세스에 반영할 수 있도록 하였다.(그림 3, 그림 4)

3.2 모델 로직 작성 및 동기화

사례 모델링을 위한 시뮬레이션 도구는 (주)다쏘 시스템즈의 물류 시뮬레이션의 상용 툴인 QUEST를 사용하였다. 해당 툴은 모델의 3D 가시화 능력이 뛰어나며, 설비 형상의 CATIA 모델에 대한 호환성이 높다. 또한, 사용자에게 의한 로직 작성이 가능하여 공정 모델링 및 데이터 정교화 프로세스에서 정리된 요구사항을 세밀하게 반영할 수 있었다.

우선, 3.1 절에서 논한 산식의 모든 변수를 고려하여 모델 상수를 정의하였으며(그림7) 부품박스별 부품 개수 및 물류작업자의 1회 작업 시 박스 공급수량과 공정별 불량률 등 반영하였다.(그림7)

모델 로직 부는 컨베이어와 설비, 컨베이어 위의 팔레트 운영 원칙과 작동 방식을 반영하였으며, 모델의 결과물 측정을 위하여 작업설 별 시간당 반제품 가공개수(그

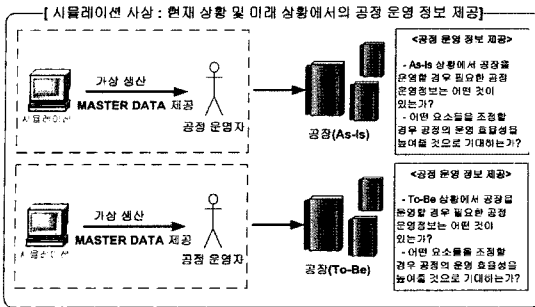


그림 11. 공정 운영 정보 제공 요구사항

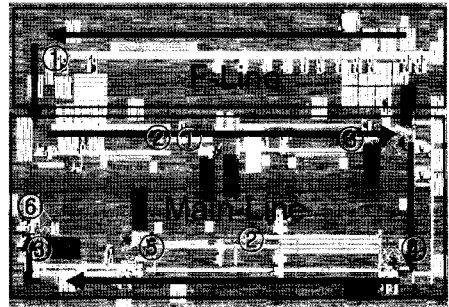


그림 14. 병목 공정 반영 UPH 측정부

항목	기호	내용	비고
단위공정		Main Line	
공정명		#OP300	부품 수납
설비명	①	부품 Box	
	②	단위 부품인입(비행)모듈	
	③	부품 수납대선	
		부품 수납대선	보의 구분
관련 사양	④	부품에 수납되어 단위 지체현상(부품인입) 부품 Box가 존재하는지 확인한다. (인입) 지체지표에 의해 확인한다.	
	⑤	지체 Box는 한 개 Box 단위로 (비행) 놓여지며, 각 Box에서 하나의 부품 단위로 (비행) 투입된다.	
		부품 Box에 의해 인입 Box가 수납된 뒤 투입된 지가 모호하여 지체현상(부품인입) 부품 Box가 구분된다.	

기호	설비명	가동 설비		이동 Kinematic		연속이		고장률		고장률 반영	
		단위	C/T	인입	출입	인입	출입	인입	출입		
①	#OP 300 Machine	00	00	sec	sec	m/sec	m/sec	EA	sec	sec	0
②	Liber Trans (Kinematic)	-	-	2	2	-	-	-	72000	7200	0

그림 12. 라인 투입 부 모델 (물류작업자)

항목	기호	내용	비고
단위공정		Main Line	
공정명		ICD 공정의작업자	
설비명	①	Touch up	OP330
	②	ICD 공정	OP330
	③	Main2 투입	
	④	프로그래밍	OP330
	⑤	작업자인입	인입구분
관련 사양	⑥	Main1 투입(공정)에서 투입되는 Touch up 공정이 존재하는지 확인한다. (인입) 공정이 존재하는지 확인한다.	
	⑦	프로그래밍 공정은 4개의 보드가 처리할 수 있는 Machine center OUI, 각각의 cyclic 회계 방법이다.	

기호	설비명	가동 설비		연속이		고장률		고장률 반영			
		단위	C/T	인입	출입	인입	출입				
①	#OP330 Machine 1	00	00	sec	sec	m/sec	m/sec	EA	sec	sec	0
②	#OP330 Machine 2	22.5	22.5	0.2	0.2	-	-	72000	7200	7200	0
③	#OP330 Machine 3	160	160	0.2	0.2	-	-	72000	7200	7200	0
④	Liber (직접작업자)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

그림 13. 검사 공정 (Neck 공정, 직접작업자 1명)

였으며, 시뮬레이션 이전 산술적인 병목 공정을 산출하여 시뮬레이션 결과와 산출치 공정과의 비교가 가능하도록 하였다.(표 1)

표 2는 As-Is 공정 데이터를 기반으로 단위 작업별 중요지점과 산출 연산을 통해 도출된 병목 공정에서 단위 생산량을 측정된 결과물이다. 시뮬레이션 결과, 현재 수준에서의 최대 설비 작업시간인 50sec 기준의 72 UPH 산출치 보다, 9단위가 작은 63 UPH가 측정되었으며, 시계열 생산량을 측정된 결과, 병목 공정과 라인 밸런싱이 되

표 1. 산출 연산에 근거한 예상 병목 공정

병목 공정과 라인 가동률 산출을 위한 산출 분석

- ※ As-Is 상황에서 분석된 병목 공정을 To-Be에 동일 적용
 - 산술적 라인의 병목 공정은 C/T 2500초(컨베이어 공정 20분 + 설비 공정 100초)의 OP#440 공정
 - 컨베이어 공정을 제외한 산술적 라인의 병목 공정은 C/T 50초의 OP#500 공정(2개 설비일 때 100초)
 - 제품 Routing 특성으로 인한 후공정에 병목을 발생시키는 문제 공정은 1개의 반제품이 2개의 반제품으로 나뉘어 분리되는 OP#320 공정(설비의 작업 완료 시간이 2개의 반제품이 반출될 때까지 증가)

공정	C/T	설비대수	제품 Routing
#OP320	15초	1대	0.5 (2개로분리)
#OP440	100초	2대	1 (한번에 1개씩)
#OP500	100초	2대	1 (한번에 1개씩)

어있지 않는 불규칙 공정에서 보여지는 지체(lag) 현상을 확연히 관찰할 수 있었다.(그림 15,16)

이에, As-Is 공정의 분석 결과 밝혀진 문제공정과 산출치로 연산된 병목공정을 바탕으로 공정 개선 시나리오(실험군)를 작성하였다.(그림 17) 기본적으로 사례 공정에서 계획하고 있는 현업의 2006년 공정 개선 모델과 2008년 이후의 To-Be 공정을 공정 개선 시나리오로 포함하였으며, 크게 병목 공정 개선 → Line Balancing 수행 → Line Balancing 상태에서 전체 공정 능력 개선을 따른다. 단, 공정 개선부에서의 설비의 C/T(싸이클 타임) 개선 사항은 시뮬레이션 모델 내에서의 설비의 작업시간을 변경하여 반영함을 원칙으로 하였다.

4.2 실험군 테스트 및 공정 개선 요소 추출

TOYOTA식 가이젠(개선 활동)은 표준작업에 근거한 낭비를 줄이는 라인개선(JIT)방식으로 C/T 타임, 작업 순서, 표준 대기의 3요소의 강조와 함께, 라인 개선을 위한

다음의 7요소를 강조한다.

1. 선행 순위를 고려해서 각 공정시간을 되도록 균일하게 한다.
2. 각 공정의 사이클타임은 되도록 Tact Time에 가깝게 한다.
3. 분업화, 동기화의 원칙에 따른다.
4. 흐름의 직선화, 단순화를 행한다.
5. Tact Time이 극단으로 짧은 경우에는 라인을 늘리거나 단독 작업화 한다.
6. 공구교환, 기계조정에 대하여 고려한다.

7. 작업환경 및 휴식공간, 물건의 흐름과 Layout과의 관계에 대해서 고려한다.

이 중, 우리는 2번 항목의 각 공정의 C/T를 Tact Time에 가깝게 한다는 항목에 초점을 두었으며, 주지하듯 여타의 항목은 시뮬레이션 초기 조건에 반영한 바 있다. 한편, 현업에서 충족시켜야 하는 단위시간당 제품 생산량은 Tact Time 20초의 시간당 180개의 제품 생산을 목적으로 하고 있었으며, 이를 위한 설비 개선으로 전 공정의 작업 시간 20초 달성에 맞게 설비의 증설/드라이버 추가 등의 개선 계획을 갖고 있었다.

시뮬레이션 결과 측정에 앞서 문제 공정을 대기 공정과 병목 공정으로 구분하였다. 대기 공정은 앞 공정이 끝날 때까지 제품이 컨베이어위에서 대기하는 시간이 80초 이상인 것으로 정의하였으며, 산술치의 병목 공정과 시뮬레이션 결과 값으로 나타나는 대기 공정의 상호 비교를 위함이다.(그림 17)

실험군 1의 대기 공정 개선 결과, OP500공정의 병목이 UPH에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 확인하였으며, 2008년 기준 시나리오를 시행한 결과 UPH의 26.8 단위 상승을 확인하였다.

단, 현업의 개선안에서는 UPH 144(Neck 공정 기준 C/T 25sec)을 목표로 하고 있었으나, 목표치를 훨씬 밑

표 2. As-Is UPH 측정 결과

항목	기호	내용	비고	UPH
예상 병목 공정	①	#OP320	병목공정	37
	②	#OP440	병목공정	71
	③	#OP500	병목공정	64
단위 작업별 종료 지점	①	F-Line종료지점	반제품	121.6
	②	Main1 Line종료	분리이전	39.1
	③	Main2 Line종료	반제품 분리이후	74.7
	④	Main3 Line종료		71.0
	⑤	Main4 Line종료		67.3
	⑥	Main5 Line종료		63

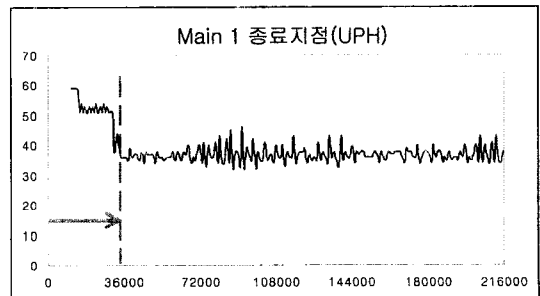
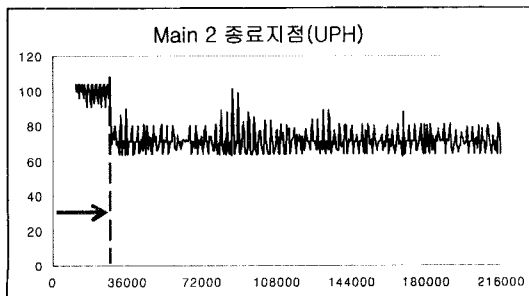
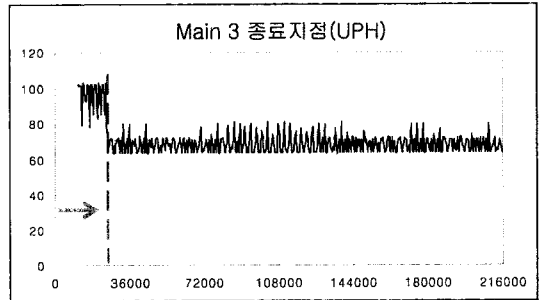
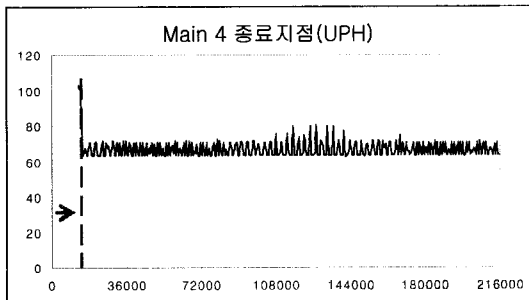


그림 15. 병목 공정의 지체(Lag) 현상

도는 UPH 89.8 수준으로 공정 개선이 완료됨을 확인하여, 현업의 2008년 개선안이 '공정 개선 효과는 있으나 제품 생산량 목표치를 수정해야 한다.'라는 주의할 만한 1차 결과를 리포팅할 수 있었다.

실험군 2에서는 2008년 개선 수준에서 공정별 Line Balancing 을 수행하는 작업을 진행하였으며(최대 작업 시간 25sec), 2~7sec의 미미한 작업 시간 개선만으로도 UPH 19.7의 상승 효과를 얻어, Line Balancing 의 중요도를 검증하였다.

To-Be 모델 현업기준은, 실험군 2와 비교하여 설비시

간을 5sec 줄인 것으로 현업이 목표하는 Tact time 20sec 의 시간당 제품 180개 산출을 목표로 하는 주요 실험군이다. 주의할 점은 시뮬레이션 결과, 공정 개선 효과가 UPH 3.7 단위 상승에 그치고 있으며, OP440의 대기 공정이 여전히 존재한다는 것을 발견할 수 있었다.

이는, 사례 공정 내에, 더 이상 설비의 작업시간의 문제가 아닌, 여타의 공정 개선 요소가 공정 내에 존재하고 있음을 의미한다.

OP440 공정은 제품에 열을 가하는 컨베이어 공정(20분)으로 컨베이어의 의존도가 큰 공정으로 공정 개선 요소로 컨베이어의 이송속도가 지적될 수 있다. 이에, 실험군 3에서 설비를 제외한 컨베이어 부분의 개선을 진행하여, 컨베이어 속도를 2배로 증가한 결과 UPH 3.8 수준의 공정 개선을 확보할 수 있었으며, 공정 대기 시간 부에 의한 라인 능력의 영향도를 파악할 수 있었다.(컨베이어 속도를 증가시킴으로, 추가 컨베이어 증설에 대한 부분을 처리하였다. 속도 증가분에 의해 발생하는 추가 부품 처리량은 해당하는 만큼 열처리 설비의 컨베이어를 증설함으로 해결할 수 있다.)

실험군 4는 라인 정지 요소를 줄이기 위해, 주요 부분에 안전재고를 비치한 결과이다. 사례 모델의 F-Line은 제품의 앞/뒷면의 공정을 번갈아 반복하는 순회공정으로

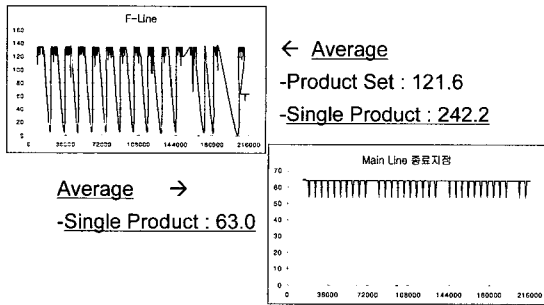


그림 16. F-Line 과 Main5 Line의 UPH(Lag 반영)

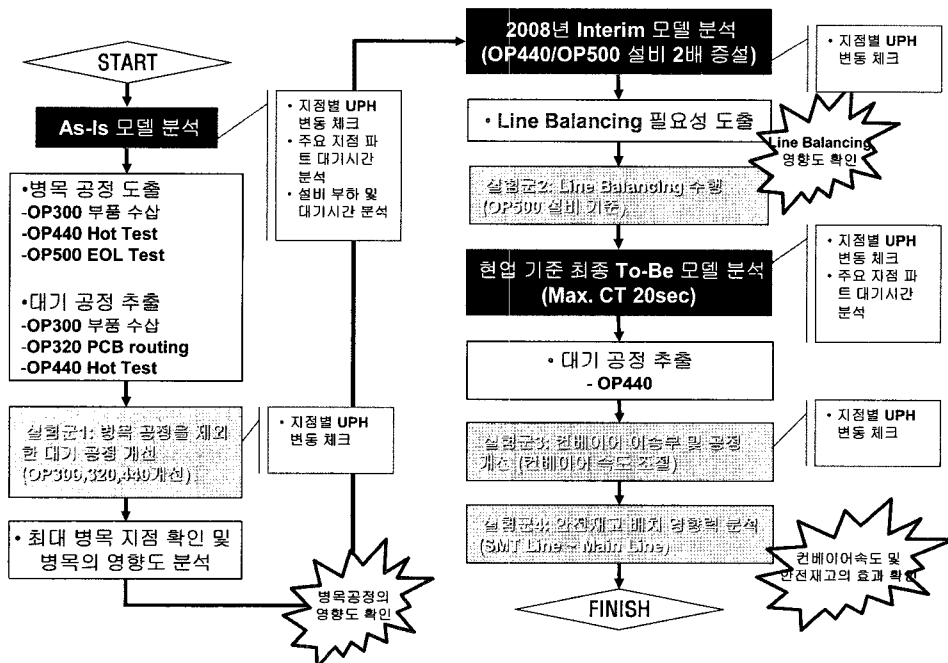


그림 17. 실험군 테스트 및 공정 개선 방안 검증

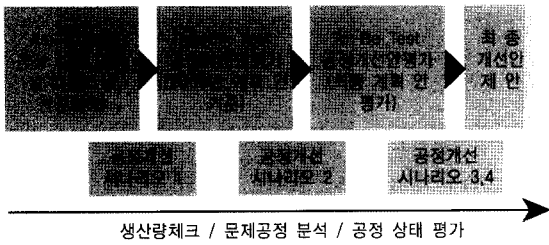


그림 18. 공정 개선안

표 3. 실험군 별 UPH 증감 표

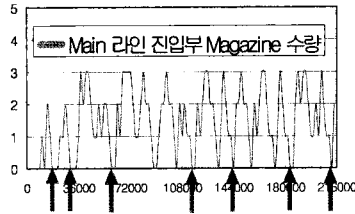
모델 특이사항	As-Is (현재)		Interim		To-Be		
	라인 불균형	대기 공정	병목 개선	Max.CT 25sec	Max.CT 20sec	컨베이어 속도2배	안전 재고
목표치	62.5	-	144	-	180	-	-
F-LINE	121.6	124.7	124.7	124.7	124.8	124.8	124.8
Main1	39.1	52.1	52.1	63.9	69.4	68.5	68.5
Main2	74.7	74.7	100.1	123.5	133.3	133.3	132.1
Main3	71.0	96.4	96.4	118.9	125.9	128.2	129
Main4	67.3	67.3	94.6	116.1	116.2	121.0	123.1
Main5	63.0	63.0	89.8	109.5	109.8	113.9	118.5
문제 공정	병목 공정	OP300 OP440 OP500	OP500	-	-	-	-
	대기 공정	OP300 OP320 OP440	OP300 OP320 OP440	OP440 OP440	OP440	-	-

2회전마다 1단위의 완제품이 산출되는 특징을 갖기에 공정 능력이 평준화 될수록 오히려, 라인이 정지할 수 있는 가능성이 높아진다. 이에, 라인이 정지하는 시점을 분석하여, 해당 부분에 안전재고를 비치하여 라인 정지 요소를 제거한 결과 평균 UPH 5개 수준의 생산량 증가를 획득할 수 있었다(표 9, 그림 18)

총 7개의 시뮬레이션 시나리오를 통해 파악한 공정 특징 및 개선 요소는 다음과 같다.

- 공정 특징 : 사례 공정은 컨베이어 공정으로 이루어진 라인 생산 방식의 자동화 공정으로 전체 공정이 유기적으로 연결되어, 문제 공정이 발생할 경우 해당 공정의 영향이 전 공정으로 파급되는 행태를 보인다.
- 공정 개선 요소 : 공정 개선에의 영향도에 따라 크게 4수준을 제시할 수 있으며, 설비의 능력의 개선 수준이 높을수록, 설비 요소 외 다른 공정 개선 요소를 검토할 것을 추천한다.

- 수준1 : 병목 공정 개선
- 수준2 : Line Balancing



< 안전재고 투입시점 >
: 일주일 생산 단위로 약 7개의 Magazine 단위의 안전재고를 보유할 경우 Main 라인이 정지 없이 가동되며, 이때, 최종 제품의 UPH 및 작업자 가동률이 증가한다.

그림 19. 안전 재고 투입을 통한 추가 산출량 확보

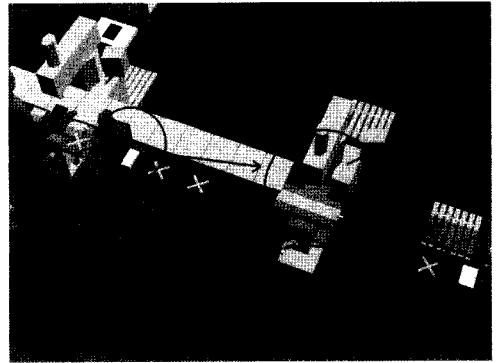


그림 20. 설비의 작업대기(wait working) 현상

- 수준3 : 컨베이어 공정 속도 증가
- 수준4 : 안전 재고 보유

4.3 공정별 작업 대기시간 및 공정 개선 상한선 도출
앞 절의 실험군 2와 To-Be 모델의 현업기준을 비교하면, 설비 개선에 의한 공정 개선 효과가 한계치에 근접함을 예측할 수 있다.

또한, 모든 시나리오에서 제품 생산량의 목표치를 만족되지 않고 있음을 알 수 있다.

- As-Is UPH: (표 4)
목표치 62.5/시뮬레이션 결과값 63
- To-Be 현업기준 UPH: (표 5)
목표치 180/시뮬레이션 결과값 109.8

모델의 상세 분석 결과 개별 설비들의 작업 대기현상이 발생함을 발견하였다.(그림 19) 이에 3.2절에서 제시한 작업 대기시간 측정 로직을 설비 거동 부분에 추가하여, 설비 앞단의 작업 대기시간을 산출하였다.(대기 시간은 설비가 선(先) 제품의 반출을 끝낸 후, 후(後) 제품이 도착할 때까지 소요되는 시간으로 정의한다.) 분석 결과 우리는 '시뮬레이션 결과로 도출되는 UPH' 와 '산술적으

표 4. As-Is 시나리오의 설비 대기시간 산출 및 대기시간을 고려한 UPH 연산값(Neck 공정 OP390)

공정 번호	대기 시간	작업 시간	합계	공정 번호	대기 시간	작업 시간	합계
F/Line	-			OP410	9.6	20.0	29.6
OP330	3.8	10.0	13.8	OP430	10.3	20.0	30.3
OP340	6.7	20.0	26.7	OP450	12.1	20.0	32.1
OP350	9.1	20.0	29.1	OP470	6.0	19.2	25.2
OP360	9.3	20.0	29.3	OP480	17.0	16.0	33.0
OP380	22.6	6.0	28.6	OP490	13.0	20.0	33.0
OP390	14.7	20.0	34.7	OP500	13.3	20.0	33.3
OP400	9.1	20.0	29.1	OP510	23.8	10.0	33.8
설비 작업시간 기준 UPH 목표치				180			
시뮬레이션 결과값 UPH				109.8			
대기시간을 고려한 UPH 연산값(비교)				103.75			

표 5. To-Be 현업기준 시나리오의 설비 대기시간 산출 및 대기시간을 고려한 UPH 연산

공정 번호	대기 시간	작업 시간	합계	공정 번호	대기 시간	작업 시간	합계
F/Line	-			OP410	17.8	30.0	47.8
OP330	2.0	10.0	12.3	OP430	29.1	20.0	49.1
OP340	19.2	22.5	41.7	OP450	32.8	20.0	52.8
OP350	3.8	35.0	38.8	OP470	31.8	19.2	51.0
OP360	23.2	22.0	45.2	OP480	20.3	16.0	36.3
OP380	8.6	6.0	14.6	OP490	14.6	22.0	36.6
OP390	30.9	27.0	57.9	OP500	4.1	50.0	54.1
OP400	1.4	32.0	33.4	OP510	20.2	10.0	30.2
설비 작업시간 기준 UPH 목표치				72			
시뮬레이션 결과값 UPH				62.5			
대기시간을 고려한 UPH 연산값(비교)				62.2			

로 연산한 UPH'가 서로 다른 이유가, 공정별 대기 시간에 의했음을 알 수 있었다.(그림 20, 표 6)

또한, 표 6에서 보여지는 최대 작업 대기시간인 OP380과 OP510의 값을 참조할 경우, 최대 달성 가능한 Tact time 을 결정할 수 있으며,(24~25sec). 현업이 실행 가능한 최대 수준의 설비 개선안을 고려하여, 공정 개선 상한치를 결정할 수 있다.

이로써, 공정 내 가장 많은 시간이 소요되는 공정은 제품이 대기하는 병목 공정이 아닌, 제품을 대기하는 시간이 함께 고려된 OP390 공정임을 파악할 수 있었다. 물론, 앞 절의 공정 개선 시나리오에서 보여진 실험군 2(Max. CT 25sec)와 To-Be 모델(Max. CT 20 sec)의 공정 개선 영향도가 크게 나타나지 않았던 이유 역시 설비의 대기시간의 영향으로 인한 공정 개선 상한치에 다다랐기 때문임을 파악하였다.

표 6. Tact time 기준 설비의 대기시간을 고려한 설비 작업 시간 역산출

공정 번호	대기 시간	작업 시간	합계	공정 번호	대기 시간	작업 시간	합계
F/Line	-			OP410	9.6	10.4	20.0
OP330	3.8	10.0	20.0	OP430	10.3	9.7	20.0
OP340	6.7	13.3	20.0	OP450	12.1	7.9	20.0
OP350	9.1	11.9	20.0	OP470	6.0	14.0	20.0
OP360	9.3	10.7	20.0	OP480	17.0	3.0	20.0
OP380	22.6	-2.6	20.0	OP490	13.0	7.0	20.0
OP390	14.7	5.3	20.0	OP500	13.3	6.6	20.0
OP400	9.1	10.9	20.0	OP510	23.8	-3.8	20.0
설비 작업시간 기준 UPH 목표치				180			

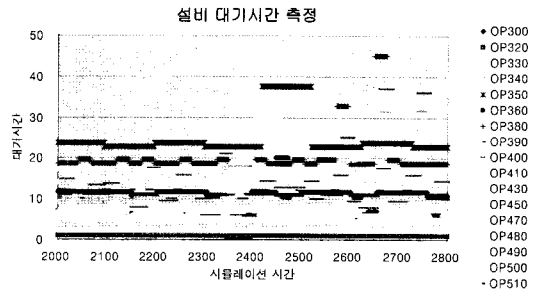


그림 21. 설비 대기시간 측정(To-Be 현업기준 모델)

라인 공정에서의 공정별 작업 대기시간을 고려한 공정 개선 상한선 도출을 위한 프로세스는 다음과 같다.

- 공정 개선 상한선 도출 프로세스

수준 1 공정 개선 요소를 고려한 공정 개선 시뮬레이션을 반복적으로 수행하여 공정 개선 상한치를 분석한다. 수준 2 설비 앞단에서의 작업 대기시간을 추출하여 설비 작업시간과 비교하여 실질적인 최대 시간 소요 공정을 산출한다.

수준 3 컨베이어의 이송속도 및 라인의 형태를 체크한 후 설비의 최대 개선 가능 수치를 조사한다.

수준 4 수준 3에서 조사한 자료와 작업 대기시간을 비교하여 공정 개선의 상한치를 결정하며, 실행가능한 공정의 능력(Tact Time)을 결정한다.

5. 결론

공정 능력은 제품의 생산 계획 및 시장의 공급계획과 연관되는 주요 요소이다. 공정 능력이 잘못 파악 되거나,

공정 개선 안이 잘못 계획 될 경우, 부적절한 설비 투자 비용은 물론이거니와 시장의 요구사항에 부응하지 못하여 생산 현장에서의 수시 잔업, 고객 불만족 등의 애로사항 발생을 막을 수 없게 된다.

본 논문에서는 이와 관련하여, 전형적인 라인 공정을 택하여, 공정 설계안 및 공정 개선 계획안 검토를 위한 이산사건 시뮬레이션을 수행하였으며, 공정 개선 요소 및 공정 개선 상한선 도출 프로세스를 정의하였다. 또한, 설비의 작업 대기시간의 영향도를 분석하여 공정 개선 상한선 뿐 아니라, 라인 내에 실질적으로 가장 시간이 많이 소요되는 공정이 병목 공정이 아닐 수 있음을 지적하였다.

또한, 시뮬레이션을 통하여, 각 시나리오별 부품 공급 주기, 설비의 운용률, 작업자 운용률 등의 주요 정보 역시 도출될 수 있으나, 본 논문에서는 언급하지 아니하였다. 해당 결과물은 이산 사건 시뮬레이션을 수행할 경우 필수적으로 얻어지는 데이터로 정적 결과물이 아닌 동적 결과물인 시계열별 결과물로서의 가치를 지님을 언급함으로 마무리 짓고자한다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 추진하는 차세대신기술개발 사업의 하나로 수행되고 있는 ‘글로벌 정보공유 및 지식 기반의 차세대 생산시스템 개발’ 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 최무용, 한승택, 서정훈, 우종훈, 이춘재, 최양렬, “자동차 조립 라인의 디지털 생산 구축 사례연구”, 한국 캐드캠학회 논문집, Vol. 10, pp. 199-209, 2005.
2. 신종계, 이장현, 우종훈, “디지털 선박생산(Digital Shipbuilding) 개념”, 대한조선학회논문집, 제38권 제1호, pp. 54-62, 2001.
3. 노상도, 이교일, 손창영, 한형상, 박영진, “가상생산기술 적용을 위한 자동차 가상플랜트 구축 및 활용”, 대한기계학회 논문집, 제25권 제10호, pp. 1627-1635, 2001.
4. 문덕희, 김하석, 송 성, 김경완, “자동차 도장공장의 Color Rescheduling Storage 설치를 위한 시뮬레이션 분석”, 대한 산업 공학 학회지, Vol. 16, No. 2, pp. 211-221, 2003.
5. John M, Gross, “Kanban made simple.”



송 영 주 (syj092@snu.ac.kr)

2004 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 학사
2004 서울대학교 경영대학 경영학과 학사
2004~서울대학교 공과대학 조선해양공학과 박사과정

관심분야 : 디지털 조선소, 모델링&시뮬레이션, 공정 관리, 생산 계획



우 종 훈 (jonghun.woo@3ds.com)

1998 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 학사
2000 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 석사
2005 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 박사
2005~2007 (주)지노스
2007~현재 다쏘시스템즈

관심분야 : 디지털 조선소, 모델링&시뮬레이션, 시뮬레이션 기반 최적화



이 동 건 (imdklee1@snu.ac.kr)

2007 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 학사
2007~현재 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 석사과정

관심분야 : 디지털 조선소, 모델링&시뮬레이션, 스케줄링



신 종 계 (jgshin@snu.ac.kr)

1977 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 학사
1979 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 석사
1988 M.I.T.(Massachusetts Institute of Technology) Ocean Engineering 박사
1993~현재 서울대학교 조선해양공학과 교수

관심분야 : 디지털 조선소, 곡가공 시스템 등