

A Case Study on Productivity Improvement by a Discrete Event-Driven Simulation System

Sangtae Kim* · Moonsoo Shin*[†] · Kwangyeol Ryu** · Yongju Cho***

*Department of Industrial and Management Engineering, Hanbat National University

**Department of Industrial Engineering, Pusan National University

***Korea Institute of Industrial Technology

이산사건 시뮬레이션 시스템을 활용한 생산성 개선 사례 연구

김상태* · 신문수*[†] · 류광열** · 조용주***

*한밭대학교 산업경영공학과

**부산대학교 산업공학과

***한국생산기술연구원

Up-to-date manufacturing companies have faced a market-driven environment of pull production order. There should be a difference in operating manufacturing resources according to the type, quantity, and delivery time of manufactured products, because the process situation in pull production is changed by customer orders. And it should be taken into account from the stage of preparing for production such as process design and the placement and utilization of manufacturing resources. However, the feasibility of production plans is limited because most of small manufacturing businesses make production/supply plan of the parts and products assuming that equipment abilities in scheduling is sufficient without managing process standard information systemically. In this study, a discrete event simulation system based on BOM (bill of material), that is F-OPIS (online productivity innovation system), is introduced and a case study on application of the system leading to improving productivities is presented. F-OPIS deals with a decision-problem on production management and it is specialized for small-and- medium sized manufacturing companies. The target company of this case study is a typical small-and-medium sized manufacturing company in Korea, that produces various machined parts. The target company adopts make-to-stock production management to prevent tardy delivery because of fluctuations in demand. Therefore, it is required to apply an efficient inventory control solution for improving productivities. In this paper, based on the constraints of working capacity of manufacturing resources, the bottleneck process is analyzed as production conditions are changed. Consequently, an improvement plan is proposed, that eventually enhances overall utilization rates of resources in the bottleneck process and reduces overall production lead-time and inventory level.

Keywords : BOM(Bill of Material), F-Opis(Online Productivity Innovation System), Production Management, Bottleneck, Productivity

1. 서론

주문생산의 동태적 시장 환경에 대한 즉시 대응력을 확보하기 위해서는 각종 IT 기술의 활용이 필요하다[8]. 대다수 중소 제조기업의 경우 IT 기술에 대한 이해도와 활용도가 매우 낮으며 고가의 도입 및 유지보수 비용뿐 아니라 전문 인력 확보의 어려움 또한 존재한다. 현실적으로 중소 제조기업에서는 현장 관리자의 경험에 따라 공정관리가 이루어지고 있는 상황이다. 유능한 현장관리자의 경험에 의한 공정관리는 다양한 운영 환경에 맞는 유연한 대처를 가능하게 한다. 반면 생산현장 및 공정에 대한 데이터의 집적 및 관리의 어려움으로 인해 생산성 저하의 한계를 보이고 있다. 따라서 체계적이고 효과적인 공정관리 및 개선활동 지원을 위한 시스템적 도구가 필요하다.

공정분석 및 개선 도구로서 현재 다양한 형태의 공정 시뮬레이션 시스템이 활용되고 있다[16]. 그러나 중소 제조기업의 경영환경에서 기존의 시뮬레이션 도구를 활용한 공정관리는 비용 부담, 유지/보수의 어려움 등 여러 가지 제약요소가 존재한다. 한국생산기술연구원에서는 이러한 어려움을 해소하고자 이산사건 시뮬레이션 시스템인 F-OPIS(online productivity innovation system)를 개발하여 보급하고 있다[21].

본 논문에서는 F-OPIS를 활용한 생산성 개선 사례연구를 제시함으로써 F-OPIS의 현장 적용에 대한 유효성을 검증하고자 한다. 이에 사례기업의 문제점을 파악하고, 개선안을 도출하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 현재공정의 문제점을 F-OPIS를 활용하여 생산모형을 모델링하며, 개선안이 적용된 생산모형을 구축하여 비교한다. 비교한 결과를 분석하여 효과를 파악하고 향후 중소 제조기업의 F-OPIS 도입의 방향을 제시하고자 한다. 본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 다양한 기법을 적용한 생산성 개선사례에 대해 살펴본다. 제 3장에서는 F-OPIS를 소개하고, 제 4장에서는 F-OPIS를 활용한 사례분석 및 결과를 제시한다. 제 5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

2. 관련 문헌연구

현재 생산성 향상을 위한 다양한 공정개선 기법이 고안되어 적용되고 있다. 임광혁[19]은 다품종 소량생산 공정에 적용 가능한 규칙 기반 공정관리(rule-based process control) 시스템을 제안하고, 이 시스템을 실제 반도체 생산공정에 적용하여 성과를 검증하였다. 송민기 외[24]는 반도체 생산 공장에서 운용되는 공정설비의 자동화된 웨

이퍼 이송에 있어 스케줄링 정책의 유지, 확장 시 안정성 저하를 최소화하는 범용 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 손미애 외[23]는 RFID(radio frequency identification) 기술을 제조 및 포장공정에 활용하여 공정 개선효과를 거두었다. 이근철[15]은 반도체, PCB(printed circuit board) 등에서 주로 적용되는 혼합 흐름공정의 라인 밸런싱 문제를 고려하였는데, 주어진 생산을 이상의 성능을 보이며 시스템의 총 기계 대수를 최소화하는 용량 관리를 통해 생산성 향상을 제시하였다. 최민철[4]은 열처리에 투입하는 제품의 구성 순서를 합리적으로 조정하는 스케줄링을 통해 생산성을 개선하였다. 정봉주, 이영훈[7]은 반도체 제조공정 중 프로브(probe) 공정의 일 단위 생산목표를 달성하기 위한 제품별 설비 가용수를 산출하는 선형계획법 모형을 제시하였다. 김동수, 문덕희[10]는 국내 반도체부품 생산공장을 대상으로 설비의 부하효율을 낮추기 위해 설문조사, 순간관측법 등 다양한 측정방법에 대한 정확성을 실제 사례를 통해 비교 분석하였다.

생산성 개선을 지원하는 다양한 시뮬레이션 도구 활용에 대한 연구를 살펴보면, 이경근 외[17]는 시뮬레이션을 통해 각 공정의 유휴율을 줄여 설비의 가동률을 향상시키고자 하였다. 채종인, 박양병[1]은 병목공정에 대한 기계추가에 의한 라인 밸런싱을 대표적 범용 시뮬레이션 도구인 Arena로 검증하였다. 최광석 외[3]는 Arena 시뮬레이션을 활용한 기존 부품라인의 개선 및 설비 추가 도입에 따른 경제성 분석을 실시하였다. 권치명, 임상규[13]는 생산 공정 간 버퍼제약이 있는 흐름공장(flow shop) 시스템에 활동기간 기반 애로공정 발견기법을 적용하고, 범용 시뮬레이션 언어인 AweSim으로 타당성을 분석하였다. 김도균 외[9]는 수도권 리사이클링 센터 폐냉장고 전처리 공정의 성능 개선 방안의 개선을 위해 Arena를 활용하여 설비의 추가 도입에 대한 타당성을 검증하였다. 정영수 외[6]는 디지털 제조 도구의 일종인 Quest를 이용하여 최적의 제조라인 설계안을 도출하기 위한 유전자 알고리즘을 적용하여 생산성 향상을 제안하였다. 송영주 외[25]는 사례기업의 라인 공정을 대상으로 이산 사건 기반의 시뮬레이션을 수행하여 일련의 공정 개선 프로세스를 제시하였다. 이병기[14]는 모터전기 조립체의 불량률을 개선하기 위해 비선형(no-linear)의 스택 업(stack-up) 기능을 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation)으로 검증하였다. 이러한 연구들은 기본적으로 확률변수가 고려되는 추계적(stochastic) 시뮬레이션을 통해 현장에서의 통계적 변이를 반영한다. 그런데 확률모형의 유효성 확보에 많은 시간과 비용이 소요된다.

최근에는 모델링 과정이 상대적으로 단순하고 간편한 확정적(deterministic) 시뮬레이션 기반의 공정 개선연구가 활발히 진행되고 있다. Herrmann 외[5]는 동적인 제조환경

에서 기획 및 제조 시스템의 제어를 위한 확정적 시물레이션 기반 시스템을 제안하였다. Standridge 외[26]는 린(lean) 생산 방식의 결함을 발견하고 이를 개선하기 위해 시스템 구성 요소 간의 상호작용 효과를 확정적 시물레이션을 통해 검증하여 모델링 효과를 평가하는 방법을 제안하였다. Chan 외[2]는 FMS(flexible manufacturing system)에서 유연성 수준에 영향을 미칠 수 있는 처리시간, 이송시간 등의 물리적 특성을 고려하여 유연성의 증가수준에 따른 시스템의 운용효과를 파악하였다. Yoon과 Shen[27]은 온라인 이산사건 시물레이션을 기반으로 실시간 의사결정에 대한 가상 제조 등을 고려하여 ‘what-if’ 시나리오를 평가하고 제조현장의 의사 결정을 지원하는 자동화 시스템을 제안하였다. Singholi 외[22]는 FMS의 불확실한 생산 조건을 개선하기 위해 기계 시스템의 내부 유연성, 라우팅(routing) 등 다양한 시스템 파라미터를 평가하기 위한 모의실험 시물레이션 연구를 제안하였다. Rosen 외[20]는 시스템 사용자의 선호도를 반영, 대안 결정을 위한 시물레이션 최적화 방법을 제안하였다.

이처럼 시물레이션 기법을 활용한 생산성 개선 노력이 지속적으로 이루어져 왔음에도 불구하고 정보시스템에 대한 활용여건이 상대적으로 열악한 대다수의 중소기업 환경에서 시물레이션 기법을 도입·활용하기에는 한계가 있다[18]. 이는 대다수의 중소기업이 현실적으로 시물레이션 전문 인력을 보유하지 못하고 있으며, 정보의 관리가 체계적이지 못할 뿐 아니라 정보시스템 자체에 대한 이해가 부족하기 때문이다. 따라서 활용이 쉽고 체계적인 정보관리를 지원할 수 있는 생산성 분석 도구의 개발 및 활용이 필요하다.

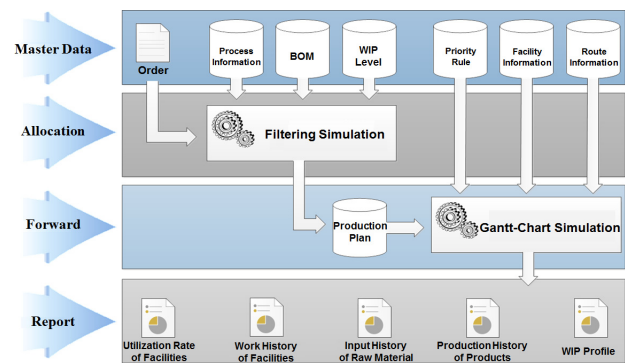
3. F-OPIS

3.1 시스템 개요

F-OPIS는 한국생산기술연구원[11, 12]에서 중소기업환경을 대상으로 개발한 이산사건 시물레이션 기반의 공정개선 및 관리시스템이다. F-OPIS는 주요 기준정보의 입력만으로도 기본적인 이산사건 시물레이션 모형을 자동생성하며, 기준정보의 관리가 용이하다. 따라서 시물레이션 모형의 설계 과정이 쉽고 단순하여 중소기업 환경에서 활용성이 매우 높은 것으로 평가된다[21].

<Figure 1>은 F-OPIS의 구성 프레임워크를 보이고 있다. 주어진 수요정보에 대해 공정정보, BOM(bill of material), 재공 및 재고 수준 등을 바탕으로 개별 공정에 작업부하를 백워드(backward) 할당하는 필터링 시물레이션(filtering simulation)을 전개하며, 이를 통해 공정별 작업할당계획

과 목표생산량을 산출한다. 이후 우선순위 규칙과 설비정보, 이송정보 등을 바탕으로 설비에 단위작업을 포워드(forward) 할당하는 간트차트 시물레이션(gantt-chart simulation)을 전개한다. 최종적으로 설비가동률, 설비별 작업이력, 자재 투입정보, 제품생산정보 등을 결과로 제시한다.



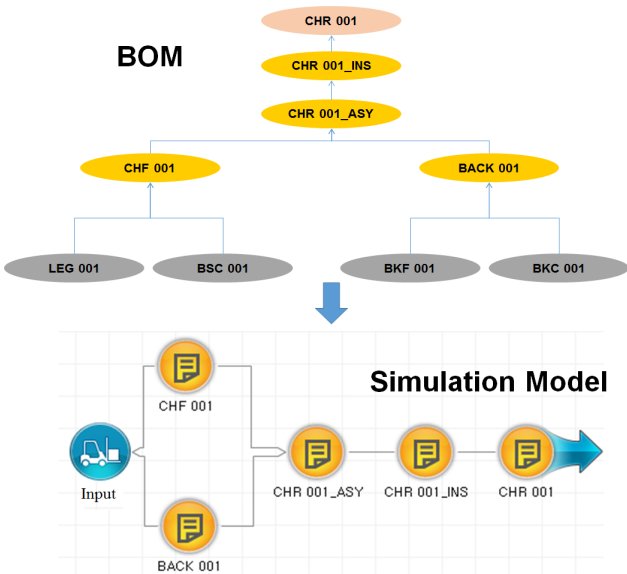
<Figure 1> System Architecture[21]

3.2 시스템 특징

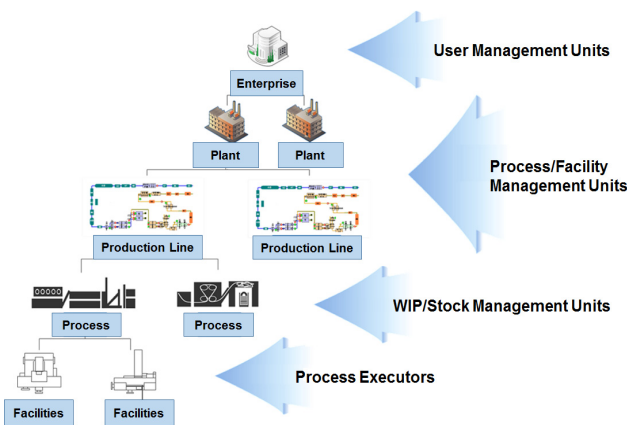
F-OPIS는 BOM을 기반으로 시물레이션 분석모형을 자동 구성하며, 원재료 혹은 반제품이 각각의 공정을 거치며 완제품으로 변환되는 과정에 대해 이산사건 시물레이션을 수행한다. 특히 확정적 시물레이션 기법을 적용함으로써 주어진 기간 동안의 생산흐름에 대해 간트차트 형태로 가시화된 직관적 결과를 제공한다. 하나의 분석모형은 BOM 상에 등록된 각각의 반제품을 가공처리하기 위한 단위공정의 집합체인 워크스테이션으로 구성된다. 하나의 반제품은 시물레이션 모형에서 하나의 단위공정으로 연계변환된다. <Figure 2>는 의자(제품명 : CHR001) 제조공정을 예시로 BOM 정보와 시물레이션 모형의 연관 관계를 보이고 있다. CHR001의 BOM 정보에 따르면 반제품 CHR001_ASY 한 단위가 또 하나의 반제품 CHR001_INS로 변환된 이후 완제품 CHR001로 완성됨을 알 수 있다. 이 때 각각의 반제품을 다른 반제품으로 변환하는 과정이 하나의 단위공정으로 모델링 된다. 즉, 반제품 CHF001과 BACK001이 CHR001_ASY라는 동일한 이름의 조립공정을 통해 CHR001_ASY라는 반제품으로 변환되는 것이다. 이후에 CHR001_INS과 CHR001 공정을 거쳐서 완제품이 만들어진다.

F-OPIS에서 관리하는 주요 기준정보는 <Figure 3>과 같이 계층적으로 구분된다. 모든 사용자에 대한 관리 단위는 각각의 업체를 기준으로 한다. 생산공정과 설비는 개별 공장과 생산라인을 관리 단위로 하며, 산출 자재와 재공 및 재고는 개별 생산공정을 관리 단위로 한다. 실제 작업 수행의 주체는 개별 생산공정에 할당된 각종 생산

설비이다. 이러한 정보체계를 바탕으로 개별 제품의 생산모형은 생산라인의 하위에 등록되며, 이를 통해 공정흐름을 입력할 수 있다. 또한 산출자재, 재공 및 재고 데이터를 각 공정별로 입력 및 변경이 가능하다. 공정에서 실제 작업수행의 주체를 작업자 혹은 설비로 설정하며 설비 기준정보의 입력만으로도 공정별 설비의 설정이 가능하다.

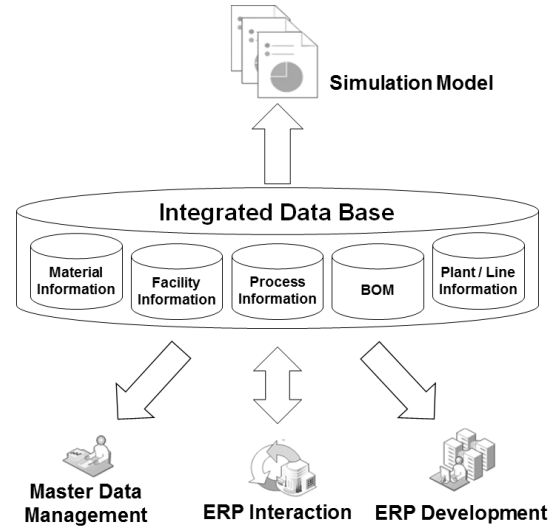


<Figure 2> BOM-Based Simulation Model



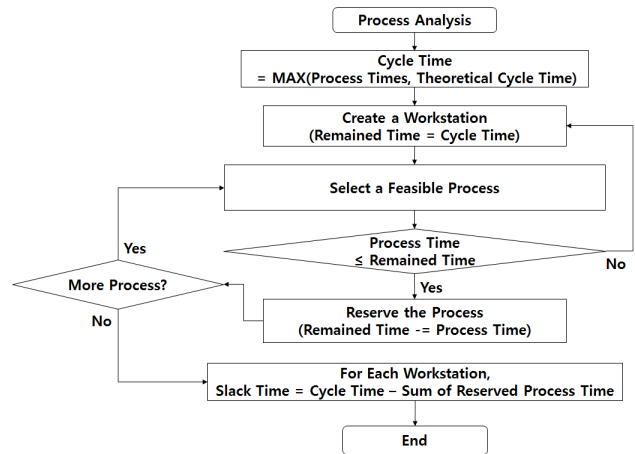
<Figure 3> Hierarchical Structure of Master Data[21]

<Figure 4>는 F-OPIS 상에서 기준정보의 관리 구조를 나타내고 있으며, 제조에 필요한 모든 기준정보가 관리 도구를 통해 통합된다. 향후 새로운 공정관리 시스템을 구축할 때 기존에 수집된 정보를 이용하여 기준정보 입력에 대한 공수를 절감할 수 있으며, 공정모형을 구축하는 것만으로 해당 공정의 기준정보 대부분을 쉽게 관리할 수 있다.



<Figure 4> Integration Framework of Master Data[21]

또한 F-OPIS는 병목공정 탐색 알고리즘을 탑재하여 라인밸런싱을 위한 의사결정을 지원한다. 시뮬레이션을 통해 산출된 공정설비별 작업일정을 분석하여 워크스테이션별 사이클타임(cycle time)과 공정별 여유시간(slack time)을 계산하여 공정납기지연유무와 병목공정 여부를 판정한다. <Figure 5>는 병목공정 탐색을 위한 공정별 여유시간 산출 과정을 나타내고 있다.



<Figure 5> Bottleneck Analysis Algorithm[21]

3.3 시스템 활용

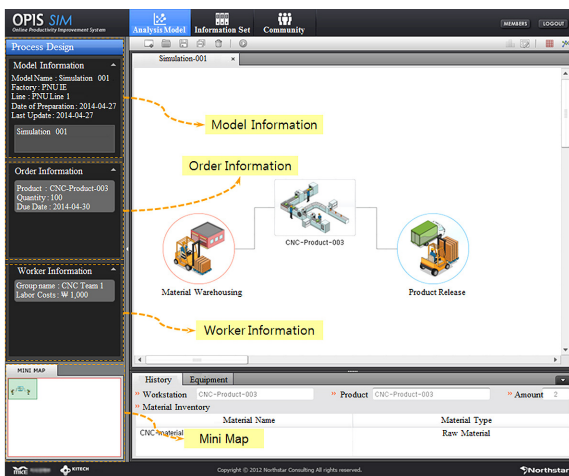
F-OPIS의 활용절차는 다음과 같다.

- 1단계 : 공정 기준정보 입력
- 2단계 : BOM 기반 시뮬레이션 모델 설계
- 3단계 : 시뮬레이션 분석

F-OPIS 구동에 필요한 기준정보는 제조자원 정보와 자재 관련 정보로 구분할 수 있다. 제조자원 정보는 투입된 자재를 처리할 수 있는 기반이 되는 정보이며 공장/라인, 설비, 작업자의 정보를 나타낸다. 공장별 복수의 생산라인을 등록할 수 있으며, 라인별 생산자원의 유형에 따라 작업자와 설비를 구분하여 입력하고 사용유무를 선택하여 시뮬레이션 결과에 영향을 미치지 않게 할 수 있다. 작업조를 편성하여 시간대별 작업자의 수를 설정하고, 휴식시간 등을 반영하여 실제 현장의 근무시간을 반영한 모델 구현이 가능하다.

자재 관련 정보는 제조자원에 투입될 자재의 구성을 나타낸다. 자재와 BOM, 주문 관련 정보를 개별 제품을 기준으로 입력한다. 완제품을 구성하는 반제품과 원재료에 대한 자재정보를 입력하고, 이를 기준으로 완제품에 대한 BOM을 구성한다. 구성된 정보를 모델에 나타내기 위해 주문정보가 필요하며, 주문정보는 주문일자, 주문량 등을 입력하여 구성한다. 입력한 제조자원 정보, 자재 관련 정보는 생산조건의 변경 등 모델 재구성에 다시 활용할 수 있어 입력공수 절감이 가능하다.

기준정보 입력을 마치면 단위공정별 세부정보 입력을 통해 BOM 기반 시뮬레이션 모델을 설계한다. 이는 워크스테이션을 구성하는 단위공정별 공정능력을 설정하는 과정으로 이루어진다. 각각의 단위공정에 대해 소요 및 산출 자재 수량을 등록하며, 앞서 입력한 제조자원 중에서 수행 가능한 설비와 작업자를 등록한다. 이때 설비의 준비시간과 1회 작업시간을 초 단위까지 입력할 수 있다. <Figure 6>은 F-OPIS 상에서의 시뮬레이션 모델 설계를 위한 실제 화면을 보여주고 있다.



<Figure 6> Simulation Model Design[21]

단위공정별 세부정보의 입력 후 시뮬레이션 실행 조건을 설정한다. 시작과 종료 시점을 설정하여 특정기간에 대

한 생산능력을 파악할 수 있으며, 우선순위 규칙 등 다양한 규칙을 반영할 수 있다. 시뮬레이션 실행결과는 <Figure 7>에서 보이는 것처럼 8가지의 분석 리포트로 제시된다. “시뮬레이션 조건”에서는 시뮬레이션 수행 기초정보와 적용규칙 및 주문정보를 확인할 수 있으며, “제품 생산 정보”에서는 제품별(완제품 기준) 생산량 및 생산 이력 정보를 확인할 수 있다. 특히, 제품별 시간대별 생산량을 그래프로 파악할 수 있다. “자재 투입 정보”에서는 공정에 투입된 원자재의 투입량 및 투입 이력 정보를 파악할 수 있다. “설비가동률”에서는 설비별 평균 가동률 및 작업이력 정보를 파악할 수 있으며, “설비별 작업 내역표”에서는 작업내역을 간트 차트 형태로 확인하여 설비의 유휴시간을 파악할 수 있다. “재공재고 정보”에서는 완제품 및 반제품 재공/재고 수량 및 변경 추이를 확인할 수 있으며, 공정별 평균 재공 수량을 그래프로 파악 가능하다. “제조원가”에서는 제품별 재료비, 제조경비 등에 대한 제조원가를 파악할 수 있다. “Bottleneck 정보”는 해당 주문 처리시 공정의 반제품 산출간격 평균인 분석 택트타임과 공정납기를 비교함으로써 공정의 병목위험을 제시한다.

Simulation Execution Result									
Qualification	Production	Input Material	Utilization	Operation History	WIP	Cost	Bottleneck		
Product	Due Date	Volume	Process	Standard Operation Time (min)	Operation Due Date (min)	Tact Time(min)	Stock Time(min)		
TYPE1_03	2014-07-11	945	TYPE1_01_LAS	3.6000	7.2000	5.7636	1.4364		
TYPE1_03	2014-07-11	945	TYPE1_02_MCT	0.9000	7.2000	6.4297	0.7703		
TYPE1_03	2014-07-11	945	TYPE1_03	7.2000	7.2000	20.1672	-12.9672		
TYPE2-1_05	2014-07-11	47,466	TYPE2-1_01_LAS	0.0229	0.1000	0.2057	-0.1057		
TYPE2-1_05	2014-07-11	47,466	TYPE2-1_02_INS	0.0357	0.1000	0.2154	-0.1154		
TYPE2-1_05	2014-07-11	47,466	TYPE2-1_03_DTM	0.0054	0.1000	0.2153	-0.1153		
TYPE2-1_05	2014-07-11	47,466	TYPE2-1_04_POS	0.0457	0.1000	0.3023	-0.2023		
TYPE2-1_05	2014-07-11	47,466	TYPE2-1_05	0.1000	0.1000	0.3322	-0.2322		
TYPE2-5_06	2014-07-11	500	TYPE2-5_01_LAS	7.2000	14.4000	11.5344	2.8656		
TYPE2-5_06	2014-07-11	500	TYPE2-5_02_MCT	0.8000	14.4000	12.8487	1.5513		
TYPE2-5_06	2014-07-11	500	TYPE2-5_03_INS	0.0357	14.4000	11.5323	2.8677		
TYPE2-5_06	2014-07-11	500	TYPE2-5_04_DTM	0.0054	14.4000	11.5151	2.8849		
TYPE2-5_06	2014-07-11	500	TYPE2-5_05_POS	14.4000	14.4000	23.0688	-8.6688		
TYPE2-5_06	2014-07-11	500	TYPE2-5_06	0.1000	14.4000	23.0401	-8.6401		

<Figure 7> Simulation Result

4. 사례 연구

4.1 사례기업 현황

본 연구의 사례기업은 MCT(machining center) 가공 중심의 임가공 기업이며, 반도체 생산설비의 부품을 주력으로 생산하고 있다. 월 단위로 MTS(make-to-stock) 방식의 생산운영관리를 실시하고 있으나, 불규칙적인 주문으로 인해 수요예측에 대한 정확도 수준이 낮고 상대적으로 높은 수준의 재고를 운영하는 실정이다. 재고 수준을 낮추기 위해서는 수요예측 정확성의 향상뿐만 아니라 생산자원 운용의 효율화를 통해 제조리드타임(manufacturing

lead time)을 단축시킴으로써 납기대응력을 높여 안전재고 수준을 낮출 필요가 있다.

사례기업은 레이저 가공, 후처리 가공 등과 같은 다수의 외주 공정을 포함하고 있다. 외주 공정은 총 소요시간이 평균 12시간 가량으로 처리시간이 길어 예비 재고를 확보하지 않으면 긴급발주, 불량품의 발생 등 예외적인 상황에 대처하기 어렵다. 또한 예비 재고가 불충분할 경우 설비의 비가동 유실 발생이 증가한다. 외주 공정의 영향으로 인해 다음과 같은 문제점이 초래될 수 있다.

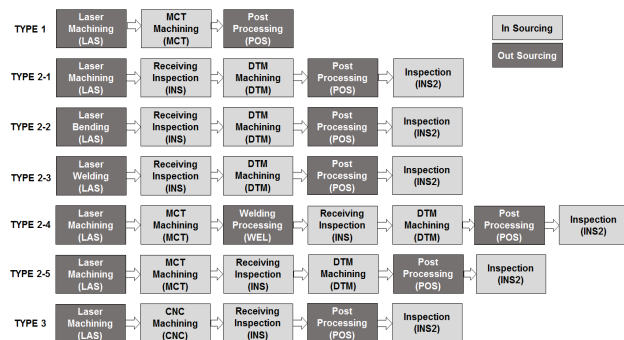
- 설비 가동의 불균형 및 비가동 유실 증가
- 생산 리드타임의 증가
- 재공/재고의 증가로 인한 유지비용의 증가

본 연구에서는 F-OPIS를 활용하여 사례기업의 제조운영 현황을 분석하고, 생산성 개선 방안을 수립 검증한다. 특히 외주가공 공정을 중심으로 공정 제약자원(critical resource)을 탐색하고 병목을 분석하고자 한다. F-OPIS 기반 시뮬레이션을 활용함으로써 설비의 작업부하 평준화를 통해 병목을 해소하고 재공/재고를 줄일 수 있는 방안을 도출한다.

4.2 입력 데이터 수집

사례기업은 주요 공정 데이터는 물론 생산이력 정보 또한 수기로 관리하고 있다. 이렇게 수기로 관리하는 데이터는 업데이트 시점에 따라 신뢰성 편차가 매우 크다. 따라서 시뮬레이션 모델 생성에 필요한 신뢰성 있는 기준정보 수집을 위해 현장에서 실측작업을 수행하였으며, 현장 관리자와의 협의를 통해 공정별/설비별 택트타임(tact time)과 공정리드타임, 작업준비시간, 설비간 이송 시간 등을 도출하였다.

생산하고 있는 제품의 종류는 2014년 5월 기준 75가지이다. 생산제품을 공정특성에 따라 구분할 경우 <Figure 8>과 같이 7가지 유형으로 정의할 수 있다. 외주 레이저



<Figure 8> Main Product Types

가공과 드릴링 공정을 포함하는 유형 2가 생산량 기준으로 다수를 차지하고 있으며, 유형 2는 5가지 세부유형으로 구분된다. 유형 2-1, 2-2, 2-3은 공정의 기본구성은 동일하지만 레이저 가공 유형이 각각 절삭(machining)과 절곡(bending), 용접(welding)으로 다르다. 유형 2-4와 2-5는 수입검사(receiving inspection)에 앞서 MCT 가공을 수행하며, 용접가공의 유무에 따라 차이를 보인다.

4.3 AS-IS 모형 수립 및 분석

사례기업의 기존 제조운영 현황을 분석하기 위해 2014년 5월 생산실적을 기준으로 AS-IS 모형을 수립하였다. 모형을 단순화하기 위해 개별 제품을 유형별로 묶어서 반영하였으며, 해당 시점을 기준으로 생산이력이 파악된 주력 제품만을 대상으로 모형을 설계하였다. <Table 1>에 나타난 바와 같이 유형 1과 2-1, 2-5가 주력 유형으로 파악되며, 각각의 유형은 시뮬레이션 모형 상에서 독립적인 워크스테이션으로 표현된다. <Table 2>는 주력 유형에 대해 완성품을 기준으로 하위 부품(parts)과 이를 산출하기 위한 단위공정(operation)을 계층적으로 나열함으로써 BOM 정보를 보이고 있다. 모든 부품의 지위(status)는 완성품(finished)과 반제품(WIP)으로 구분되며, 완성품은 계층구조

<Table 1> Production Order

Product type	Quantity	Ratio(%)
TYPE 1	945	1.9
TYPE 2-1	47,466	95.1
TYPE 2-5	500	1.0
Etc.	1,000	2.0
Total	49,911	100.0

<Table 2> BOM of Main Product Types

Product type	Tier	Parts	Operation	Status
TYPE1	1	TYPE1_03	POS	Finished
TYPE1	2	TYPE1_02	MCT	WIP
TYPE1	3	TYPE1_01	LAS	WIP
TYPE 2-1	1	TYPE2-1_05	INS2	Finished
TYPE 2-1	2	TYPE2-1_04	POS	WIP
TYPE 2-1	3	TYPE2-1_03	DTM	WIP
TYPE 2-1	4	TYPE2-1_02	INS	WIP
TYPE 2-1	5	TYPE2-1_01	LAS	WIP
TYPE 2-5	1	TYPE2-5_06	INS2	Finished
TYPE 2-5	2	TYPE2-5_05	POS	WIP
TYPE 2-5	3	TYPE2-5_04	DTM	WIP
TYPE 2-5	4	TYPE2-5_03	INS	WIP
TYPE 2-5	5	TYPE2-5_02	MCT	WIP
TYPE 2-5	6	TYPE2-5_01	LAS	WIP

상에서 1단계(tier)에 위치한다. <Table 3>은 유형 2-1 제품의 공정 구성 정보로서 단위공정별 주요 기준정보를 BOM의 계층구조에 따라 공정순서의 역순으로 나타내고 있다. 2차 검사공정(INS2)은 사내에서 이루어지며, 이에 앞서 외주 후처리 공정(POS)이 수행된다. 후처리 공정의 배치크기는 3,500개이고, 가공시간은 24시간이며, 드릴링 공정(DTM) 이후에 진행된다.

<Table 3> Process Information of TYPE 2-1

Operation	Equipment	Processing time(sec)	Set-up time(sec)	Batch size
INS2	INS04	600	2	100
POS	OUT11, OUT12, OUT13	86,400	0	3,500
DTM	DTM01, DTM02, DTM03, DTM04	500	300	100
INS1	INS01	200	2	100
LAS	OUT01, OUT02, OUT03	43,200	0	3,500

<Table 4> Tact Time in as-is Model

Product type	Process	Tact time (min)	Slack time (min)
TYPE1	POS	20.17	-12.97
TYPE1	MCT	6.43	0.77
TYPE1	LAS	5.76	1.44
TYPE2-1	INS2	0.33	-0.23
TYPE2-1	POS	0.30	-0.20
TYPE2-1	DTM	0.22	-0.12
TYPE2-1	INS1	0.30	-0.20
TYPE2-1	LAS	0.33	-0.23
TYPE2-5	INS2	23.04	-8.64
TYPE2-5	POS	23.07	-8.67
TYPE2-5	DTM	11.52	2.88
TYPE2-5	INS1	11.53	2.87
TYPE2-5	MCT	12.85	1.55
TYPE2-5	LAS	11.53	2.87

AS-IS 모형의 타당성을 검증하기 위해 병목공정인 외주 후처리 공정의 택트타임을 기준으로 비교 분석하였다. 실제 외주 후처리 공정을 진행하는데 22초의 택트타임이 발생하는 것으로 파악되었으며, AS-IS 모형의 시뮬레이션 결과상에서는 평균 21.61초로 나타났다. 택트타임 측면에서 AS-IS 모형과 실제 공정 간의 오차는 약 1.8%로 아주 작은 수준이므로 AS-IS 모형이 병목공정 구현 측면에서 정합성을 가진 것으로 판단할 수 있다.

<Table 4>는 공정별 택트타임(tact time)과 여유시간(slack time)을 보이고 있다. 유형 1과 유형 2-5의 외주 후처리

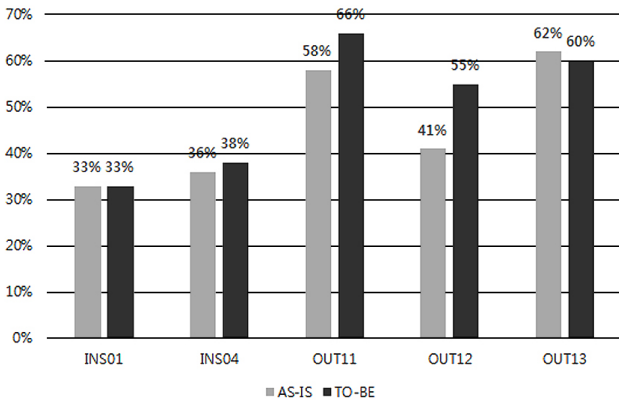
공정(POS)과 2차 검사공정(INS2)의 택트타임은 평균 22초를 보이며 다른 공정에 비해 10초 이상 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 사례기업에서는 주문량이 가장 많은 유형 2-1 제품을 우선적으로 생산하고 이후 발생하는 유틸설비에 여러 제품의 작업을 할당한다. 이를 시뮬레이션 모형에서 구현하기 위해 유형 2-1 워크스테이션의 외주 레이저 가공(LAS)과 외주 후처리 가공에 운영되는 모든 설비를 우선 할당하였다. 따라서 유형 2-1 제품은 다른 유형의 제품에 비해 택트타임과 여유시간이 짧은 것을 확인할 수 있다.

F-OPIS 분석 결과 사례기업의 병목공정은 1차 및 2차 검사 공정과 외주 후처리 공정(POS)으로 나타났다. 1차 및 2차 검사 공정에 해당하는 설비는 각각 INS01, INS04이며 33%, 36%의 가동률을 나타내고 있다. 외주 후처리 공정의 설비 OUT11, OUT12, OUT13은 각각 58%, 41%, 62%의 가동률을 보이고 있어, 전반적으로 외주 후처리 공정에서 설비의 불균형 운용현상을 보인다.

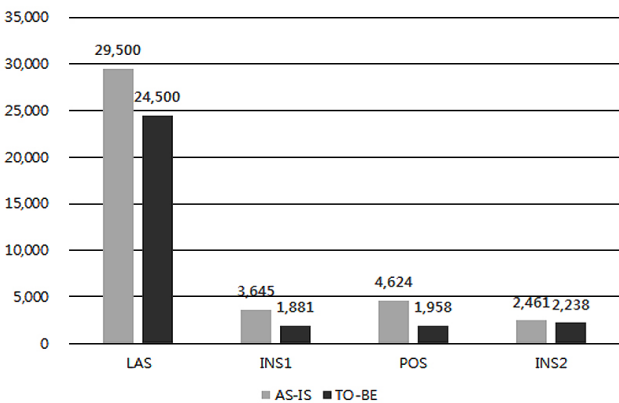
4.4 TO-BE 모형 수립 및 분석

AS-IS 모형에서 주요 병목공정으로 분석된 외주 후처리 공정(POS)의 택트타임을 감소시키고 설비 가동률을 높이기 위한 TO-BE 모형을 수립하였다. 특히 외주 레이저 공정(LAS) 설비의 일부를 유형 2-1 제품을 전용으로 생산할 수 있도록 하였다. 유형 2-1 제품은 주문량이 47,466개(95.1% 비중)로 3가지 주력 제품 유형 중에서도 압도적으로 큰 비중을 차지하고 있다. 그럼에도 불구하고 각각의 제품 유형들이 생산 설비를 공유하는 혼류생산 방식을 취할 경우 제품 유형별 공구교환, 공작물 교환에 따른 많은 준비시간이 소요된다. 따라서 여러 대의 설비에 작업을 할당하여 제품을 생산하는 것은 비효율적이라고 판단할 수 있다. 이를 해소하기 위해 AS-IS 모형에서는 외주 레이저 가공의 OUT01, OUT02, OUT03 설비를 범용으로 운영했지만 TO-BE 모형에서는 OUT02가 TYPE2-1만을 담당하도록 설계하였다.

<Figure 9>는 TO-BE 모형에 대한 시뮬레이션을 통해 산출된 주요 병목예상공정 설비의 가동률을 보이고 있다. 외주 후처리 공정(POS) 설비 OUT11, OUT12, OUT13의 가동률은 최대 66%, 최소 55%로 11%P의 차이를 보인다. AS-IS 모형에 비해 설비가동률의 최대값과 최소값의 차이를 기존 21%P에서 약 10%P 줄이며 설비의 균형적 운용을 가져왔다. 반면, 2차 검사 공정(INS2)의 경우 설비 INS04가 기존 가동률인 36%에서 38%로 2%P 증가하는 현상을 보였는데 이는 외주 후처리 공정 설비의 가동률이 평균적으로 증가했기 때문에 이후 진행되는 2차 검사공정의 작업량이 증가했기 때문으로 분석된다.



<Figure 9> Utilization Level of Bottleneck Equipment



<Figure 10> WIP Level of Bottleneck Processes

<Figure 10>은 AS-IS 모형과 TO-BE 모형에서의 주요 공정에 대한 평균 재공(WIP) 수준을 보이고 있다. AS-IS 모형의 평균 재공 수준은 외주 레이저 공정(LAS) 29,500개, 1차 검사 공정(INS1) 3,645개, 외주 후처리 공정(POS) 4,624개, 2차 검사 공정(INS2) 2,461개로 나타났다. TO-BE 모형에서 전용설비를 지정된 뒤 재공 수준은 각 공정별로 24,500개(16.95%), 1,881개(48.40%), 1,958개(57.66%), 2,238개(9.06%)로 감소하였다. TYPE 2-1의 제품 생산을 위한 주요 공정에서만 총 30,577개의 재공 수를 줄여 전체 23.99%의 재공 감소효과를 확인할 수 있었다. 또한 재공이 감소되어 제품 생산에 대한 여유버퍼를 가동할 수 있게 되어 긴급발주, 설비고장 등에 대비할 수 있을 것으로 기대된다.

<Table 5>는 2014년 5월 한 달간의 생산현황을 기준으로 AS-IS 모형과 TO-BE 모형에서 각각 산출된 평균 재공 수준과 주요 공정설비의 가동률 및 평균 제조리드타임을 보이고 있다. 시뮬레이션 길이는 31일로 설정하였고, 초기 재공은 무시할 수 있는 수준이므로 준비기간(warm-up period)은 반영하지 않았다. 이를 종합하면 TO-BE 모형을 통해 평균 재공 수준을 24.0% 감소시키고, 설비 가동률을

9.6% 증가시켰으므로 평균 제조리드타임이 16.6% 감소됨을 확인할 수 있다. 이는 외주 레이저 공정에서 유형 2-1 제품에 대한 전용설비를 지정함으로써 범용 운용시의 잦은 제품 변경으로 인한 셋업시간 발생을 억제할 수 있었기 때문이다. 셋업시간이 감소함에 따라 설비가동률이 증가하고, 재공의 정체를 줄임으로써 결과적으로 제조리드타임이 줄어드는 것이다. 궁극적으로 제조리드타임의 단축은 급변하는 생산요구에 대한 대응력을 높임으로써 안전재고 수준을 낮출 수 있고 이에 따라 재고운용 비용을 절감시킬 것으로 기대된다.

<Table 5> Overall result

	AS-IS	TO-BE	Increase rate (%)
WIP(unit)	40,230	30,577	-24.0
Utilization(%)	46.3	50.8	9.6
Lead time(hour)	561.7	469.0	-16.6

5. 결 론

중소 제조기업에서는 F-OPIS를 활용하여 실제 현장을 이산사건 시뮬레이션 모델로 손쉽게 구현하여 현장에서 발생하는 현상을 파악하고 운영하는데 필요한 여러 가지 전략을 수립할 수 있다. 이러한 이유로 기업은 생산모형을 구현하고 다양한 대안을 수립하고 현장에 적용하고자 노력한다. 본 연구는 반도체 생산설비의 부품을 생산하는 중소 제조기업의 실제 이산공정 시뮬레이션 모델을 F-OPIS로 구현하고 이를 통해 생산공정 분석을 수행하였다. 중소 제조기업은 생산 공정에 필요한 기준정보의 관리가 체계적이지 못한 경우가 빈번하기 때문에 대안을 수립하여 개선된 시스템의 효과를 파악하는데 있어 데이터 조사, 입력공수 증가 등의 많은 어려움을 겪는다. 본 연구는 앞서 제시된 문제점을 해결하고자 기업의 기준정보를 수집하고 AS-IS 모형을 수립하여 실제공정과 같이 구현되었는지 타당성을 검증하였다. 기존의 다른 시스템은 단위공정의 세부설정에 있어 시뮬레이션에 대한 기본 지식 없이 단위공정에 대한 세부 설정이 쉽지 않았다. 그러나 F-OPIS에서는 직관적 사용자 환경을 기반으로 BOM 기반 단위공정의 세부정보의 간단한 입력이 가능하다. 본 연구는 F-OPIS의 사용성을 검증하고자 공정에서 발생하는 문제점을 반영하여 모델링하였다. 병목 예상공정인 외주 후처리 공정에 전용설비를 지정하여 모형에 반영하였다. TO-BE 모형을 분석한 결과 설비의 균형 운용, 재공 재고의 감소, 생산 리드타임이 감소 등의 효과를 파악할 수 있었다. 특히 모형을 구축하는 것만으로 생산대

이터를 수집하며 효율적 정보관리가 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 향후 연구 내용으로 제조비용을 반영하여 생산자원의 효율적 운용을 위한 경제성 분석을 고려하거나, SPT(shortest processing time), LPT(longest processing time) 등 우선순위규칙(dispatching rules)을 반영하여 기업에 맞는 생산계획을 수립하는 것이 필요하다.

Acknowledgement

This work is supported by the fusion research project between the government-funded research institutes (EO150044, a development of the KLM system for the stabilization of Kimchi raw material and study on food industry), funded by the Korea Institute of Industrial Technology (KITECH).

References

- [1] Chai, J.I. and Park, Y.B., A Study on Throughput Increase in Semiconductor Package Process of K Manufacturing Company Using a Simulation Model. *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2010, Vol. 19, No. 1, pp. 1-11.
- [2] Chan, F.T.S., Bhagwat, R., and Wadhwa, S., Increase in flexibility : productive or counterproductive? A study on the physical and operating characteristics of a flexible manufacturing system. *International Journal of Production Research*, 2006, Vol. 44, No. 7, pp. 1431-1445.
- [3] Choi, G.S., Park G.A., and Yoon, Y.S., A Methodology for Productivity Improvement using Simulation Technique in Small and Medium Enterprise. *Journal of Industrial Economics and Business*, 2011, Vol. 24, No. 4, pp. 1969-1987.
- [4] Choi, M.C., A Study on Heat-Treatment Process Scheduling for Heavy Forged Products using MIP. *Korean Management Science Review*, 2012, Vol. 29, No. 2, pp. 143-155.
- [5] Herrmann, C., Thiede, S., Kara, S., and Hesselbach, J., Energy oriented simulation of manufacturing systems-Concept and application. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2011, Vol. 60, No. 1, pp. 45-48.
- [6] Jeong, Y.S., Yim, H.J., Jee, H.S., and Lee, K.K., A Manufacturing Line Optimization for Discrete Event Simulation and Genetic Algorithm. *Transaction of the Society of CAD/CAM Engineers*, 2008, Vol. 13, No. 1, pp. 67-75.
- [7] Jung, B.J. and Lee, Y.H., Capacity Planning and Control of Probe Process in Semiconductor Manufacturing. *IE interfaces*, 1997, Vol. 10, No. 3, pp. 15-22.
- [8] Kang, T.Y., Kwon, D.W., and Son, E.I., The Effect of Multiple Value Frames of IT Productivity on Business Performance. *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 2003, Vol. 31, No. 4, pp. 203-218.
- [9] Kim, D.G., Kang, .M.K., Choi, J.Y., Park, K.J., and Kong, M.S., Improvement of the Waste Refrigerator Pre-processing Line in Metropolitan Recycling Center using Simulation. *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2013, Vol. 22, No. 4, pp. 129-138.
- [10] Kim, D.S. and Moon, D.H., A Case Study of Comparing the Measuring Methods for Workloads of Resources in a Manufacturing Processes of Semiconductor-Parts. *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2011, Vol. 20, No. 3, pp. 49-58.
- [11] Kitech OPIS_SIMULATION_FRAMEWORK. C-2012-006817.
- [12] Kitech, OPIS_SIMULATION_ENGINE. C-2012-006816.
- [13] Kwon, C.M. and Lim, S.G., Bottleneck Detection Based on Duration of Active Periods. *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2013, Vol. 22, No. 3, pp. 35-41.
- [14] Lee, B.K., Variation Stack-Up Analysis Using Monte Carlo Simulation for Manufacturing Process Control and Specification. *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 1994, Vol. 22, No. 4, pp. 79-101.
- [15] Lee, G.C., The information of dispatching rules for improving job shop performance. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2007, Vol. 30, No. 3, pp. 94-102.
- [16] Lee, J.Y., A Study on Lead-time Reduction Based on Advanced Planning and Scheduling(APS) System. Master thesis, Hanbat National University, 2015.
- [17] Lee, K.K., Yun, W.Y., Moon, I.K., Cho, H.S., and Cha, B.C., A Study on Improvement of a Production System in Small and Medium Sized Shoes Companies using Simulation. *IE interfaces*, 2005, Vol. 18, No. 1, pp. 35-43.
- [18] Lee, S.J., Cho, N.Y., Kim, B.S., and Cho, C.W., Identifying Promising IT Products for SMEs under the Concept of Business Ecosystem. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2013, Vol. 39, No. 1, pp. 61-72.
- [19] Lim, K.H., Rule-based Process Control System for multi-product, small-sized production. *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 2010, Vol.

- 15, No. 1, pp. 47-57.
- [20] Rosen, S.L., Harmonosky, C.M., and Trabant, M.T., A simulation optimization method that considers uncertainty and multiple performance measures. *European Journal of Operational Research*, 2007, Vol. 181, No. 1, pp. 315-330.
- [21] Shin, M.S., Ryu, K.Y., and Cho, Y.J., ISC process management simulation. Seoul : Korea Association of Machinery Industry, 2014.
- [22] Singholi, A., Ali, M., and Sharma, C., Impact of manufacturing flexibility on FMS performance : a simulation study. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 2011, Vol. 10, No. 1, pp. 96-116.
- [23] Sohn, M.E., Kim, W., and Kang, S.J., A RFID-based Process Improvement Methodology : Packing Process of Medium size Enterprise. *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2007, Vol. 16, No. 4, pp. 67-75.
- [24] Song, M.G., Jung, C.H., and Chi, S.D., A study of Cluster Tool Scheduler Algorithm which is Support Various Transfer Patterns and Improved Productivity. *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2010, Vol. 19, No. 4, pp. 99-109.
- [25] Song, Y.J., Woo, J.H., Lee, D.K., and Shin, J.G., 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. *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2008, Vol. 17, No. 2, pp. 63-74.
- [26] Standridge, C.R. and Marvel, J.H., Why lean needs simulation. *In Proceedings of the 38th conference on Winter simulation*, 2006, pp. 1907-1913.
- [27] Yoon, H.J. and Shen, W., Simulation-based real-time decision making for manufacturing automation systems : a review. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 2006, Vol. 8, No. 1-3, pp. 188-202.

ORCID

Sangtae Kim | <http://orcid.org/0000-0003-2066-7665>

Moonsoo Shin | <http://orcid.org/0000-0001-6318-9662>

Kwangyeol Ryu | <http://orcid.org/0000-0003-0892-5684>

Yongju Cho | <http://orcid.org/0000-0001-5451-0194>