

전력용 변전시스템 제조공정 시뮬레이터 개발

김 혁[†], 이광수^{††}, 조규성^{†††}

Developing a Simulator on the Manufacturing Process of Electrical Substation System

Hyuk Kim[†], Kwang-Soo Lee^{††}, Gyu-Sung Cho^{†††}

ABSTRACT

This research suggests a simulator regarding the Manufacturing Process of Electrical Substation System using a simulation method. This study is to propose and apply a new concept of simulation modeling, referred to as integrated Aspect-Oriented Modeling Approach (i-AOMA), in order to efficiently support the design and analysis of a Manufacturing Process of Electrical Substation System. The modeling based on i-AOMA can support easy generation of lots of alternative processes to meet simulation requirements of Manufacturing Process of Electrical Substation System in real case studies.

Key words: Electrical Substation System, Simulation, System Performance

1. 서 론

전력산업에서 사용되는 전력용 변전시스템은 에너지를 공급하는 중전기 산업의 핵심 설비로서 발전 설비분야와 더불어 국가 핵심 산업에서 차지하는 비중이 높은 설비이다. 전력용 변전시스템 제조산업은 제조공정의 설계에서부터 조립기술에 이르기까지 고부가가치 산업이다. 이에 국가적 차원에서 전력산업분야의 경쟁력을 높이기 위한 전력의 효율적인 제어 가능한 체계적인 전력용 변전시스템 개발 및 생산이 요구되고 있는 상황이다. 하지만 전력용 변전시스템을 생산하는 제조공정은 다품종 소량방식의 주문자 생산방식으로 제품을 생산하고 있기 때문에 제조 여건에 따라 생산량에 많은 영향을 받고 있다 [1]. 따라서 전력용 변전시스템을 생산하기 위해서는 제조공정의 설계, 분석 및 운영이 종합적으로 고려된 제조공정을 구축하여야만 경쟁력 있는 제품을 생산

할 수 있다. 하지만 다품종 소량방식을 추구하고 있는 제조공정의 효율적인 관리를 위해서는 체계적인 제조공정의 분석이 요구되고 있다. 이에 최근에는 제조공정의 생산성 향상과 기업의 수익확대를 위해서는 제조공정의 단위화 작업을 수행할 수 있는 제조공정시스템 도입 및 운영이 필요하다. 이러한 상황에서 시뮬레이션 기법을 적용한 가상의 제조공정 시뮬레이터 개발 및 성능분석이 지속적으로 요구되고 있다[2-4]. 그 이유는 시뮬레이션 기법을 적용할 경우에는 현재의 공정현황을 쉽게 분석할 수 있을 뿐만 아니라 개선 대안의 적용을 통한 대안 검증을 쉽게 수행할 수 있기 때문이다[5]. 하지만 기존의 전력용 변전시스템 관련 연구는 주로 전기분야에서의 전력 설비 효율향상에 초점을 두고 있기 때문에 효율적인 제조공정에 관한 전반적인 연구가 부족한 상황이다. 그리고 시뮬레이션 기법을 적용한 연구에서도 현실 시스템 분석을 위해 요구되는 다양한 시스템 설계

* Corresponding Author: Gyu-Sung Cho, Address: (608-711) 428, Sinseon-ro, Nam-gu, Busan, Korea, TEL : +82-51-629-1466, FAX : +82-51-629-1419, E-mail : gscho@tu.ac.kr

Receipt date : Nov. 23, 2014, Revision date : Dec. 29, 2014
Approval date : Jan. 13, 2014

[†] SCIEX Co. Ltd. (E-mail : new0790@hanmail.net)

^{††} Peace % Inc. ((E-mail : kslee@peace-percent.com)

^{†††} Dept. of Port Logistics System, TongMyong University

* This research was supported by TongMyong University grant funded by the Peace % Inc. (2014B046)

요소 및 운영방안 등을 고려한 시뮬레이션 모델로의 설계 및 분석 연구도 부족한 상황이다. 이에 본 연구에서는 전력용 변전시스템 제조공정을 구현하기 위해 관점지향적 방법과 객체지향적 방법을 접목시킨 시뮬레이터 설계 및 개발을 수행하고자 한다. 기존 연구에서는 관점지향적 방법과 객체지향 개념을 활용하여 개별 프로세스의 공통된 동작들을 모듈화하고, 관점지향적 개념을 활용해서 전 프로세스에 걸쳐 있는 횡단 관심사를 추출한 제조공정의 시뮬레이터 설계 및 분석을 수행하였다[6-8]. 그러나 객체지향적 방법은 개발된 모듈들 간의 횡단관심사를 수행하지 못하기 때문에 이를 개선하기 위해 관점지향적 방법과 객체지향적 방법을 접목한 i-AOMA(improved Aspect-Oriented Modeling Approach) 방법이 제시되었다[9-10]. 따라서 본 연구는 전력용 변전시스템 제조공정에 관한 연구로서 제조공정을 체계적으로 분석하기 위해 i-AOMA를 적용한 제조공정 시뮬레이터 개발을 주요 목적으로 하고 있다. 개발된 시뮬레이터는 실제 전력용 변전시스템을 생산하는 A회사의 실제 운영데이터를 기반으로 개발된 시뮬레이터를 통한 제조공정의 성능분석을 수행하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 전력용 변전시스템에 대한 정의를 기술하였고, 3장에서는 가상의 전력용 변전시스템 제조공정을 구현하기 위한 i-AOMA에 관한 기본 개념 제시 및 제조공정에 필요한 운영데이터를 제시하고 제시된 데이터를 기본으로 가상의 제조공정을 구현하여 성능산정을 수행하였다. 그리고 4장에서 본 연구에 대한 결론을 제시하였다.

2. 전력용 변전시스템

전력을 효율적으로 관리하여 전력 손실을 막고 안정된 전력공급으로 전력사용부하의 유지 및 전력설비의 수명을 연장시키기에 불필요한 요소를 제거시켜 주는 시스템을 전력용 변전시스템이라고 한다. 일반적인 전력용 변전시스템의 제조공정은 ① 자재입하 -> ② 중판 및 결선 조립작업 -> ③ 외함 및 결선 조립작업 -> ④ 품질검사 -> ⑤ 완제품 출하로서 원자재의 투입에서부터 중판 및 외함 조립, 검사 및 운반 등의 작업을 통해서 제품을 생산하고 있다. 자재입하는 자재발주서를 참조하여 자재사양 및 수량

을 확인하는 공정이다. 중판 및 결선조립작업은 전력용 변전시스템의 전력설비를 중판에 부착 및 마킹/드릴/탭 및 조립작업을 수행하는 공정이다. 외함에 중판 취부/넘버링/압착 및 결선을 통한 전력용 변전시스템을 생산하고 완제품의 품질 검사를 통해 완제품을 출하하고 있다. 전력용 변전시스템에서 변전용 회로판과 전력제어시스템을 보호하는 외함은 매우 무겁고 부피가 크다. 따라서 생산중인 제품들은 해당 작업 공간에서 조립 작업 및 결선작업이 수 시간에서 수일이 소요되는 특징이 있다. 또한 전력용 변전시스템은 고객 주문 이후에 제품을 생산하기 때문에 관련된 원자재는 제품 주문량과 및 주문 시기에 따라 제조공정에 투입되는 특징이 있다.

전력용 변전시스템의 제조공정은 각 제품에 필요한 부품별로 고유 코드를 부여하고 있고 부여된 코드를 통해 공정에 필요한 부품을 관리하고 작업요청이 발생시 GT(Group Technology)방식의 한 방법인 부품분류방법을 적용하여 완제품을 생산하고 있다.

3. 가상의 전력용 변전시스템 제조공정 구현

3.1 i-AOMA 정의

기존의 시뮬레이션 기법을 적용한 연구에서는 객체지향적 방법을 주로 사용하여 분석하고 있다. 객체지향적 방법은 구현될 시스템을 수직적인 구조로 표현하여 시뮬레이션의 모델링 및 설계를 효율적으로 수행할 수 있는 방법으로 사용되었지만, 객체지향 시뮬레이션 방법은 시뮬레이션 설계에 있어서 수직(핵심)적인 요소만을 고려하고 있다. 따라서 객체지향 방법은 많은 모듈들에 걸쳐있는 횡단관심사를 모듈화하지 못하는 단점이 있다[6]. 이를 보완하기 위하여 관점지향적 방법을 활용한 상호 공통분야를 모듈화시켜 중복성 제거와 구축 모델 변경 및 재사용 등의 효율성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시되었다. 하지만 관점지향적 방법만을 적용한 시뮬레이터 개발에는 한계가 있어서, 본 연구에서는 Fig. 1와 같이 기존의 관점지향적 방법이 가지고 있는 상호 공통분야 모듈화 기능과 객체지향적 방법을 연계한 i-AOMA 기반의 가상의 전력용 변전시스템 제조공정 시뮬레이터 개발을 고려하였다[9-10].

i-AOMA는 구현된 시뮬레이터내의 상호 공통분야를 단위모듈화를 시켜 사용함으로써 중복성 제거

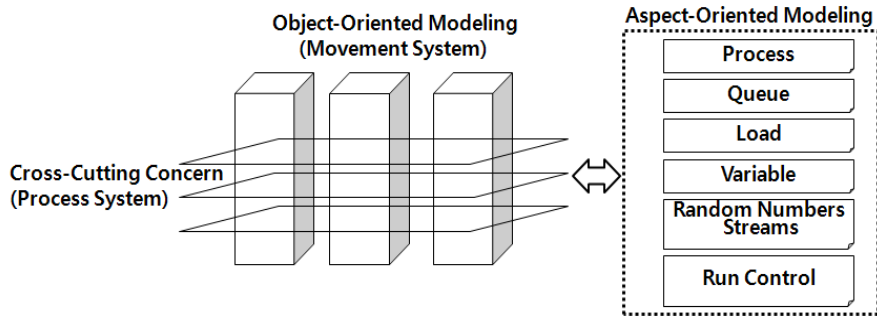


Fig. 1. Conceptual Framework of i-AOMA.

와 구축 모델 변경 및 재사용 등의 효율성을 높일 수 있는 방법이다. 또한 시뮬레이터를 구현하기 위해서 필요한 물리적 운영 시스템은 객체지향적 방법을 사용하여 개발하고, 개발된 운영시스템의 운영 대안에 따른 수행은 관점지향적 방법을 적용하여 개발한다.

3.2 전력용 변전시스템 제조공정 분석

전력용 변전시스템 제조공정용 시뮬레이터를 개발하기 위해서 먼저 본 연구에서는 전력용 변전시스템을 제조하는 A업체를 중심으로 제조공정 분석을 수행하였다. 제조공정 분석을 통해 도출된 데이터는 제조공정 시뮬레이터의 기초자료로 활용된다. 제조

공정에서는 Table 1과 같이 총 4종류의 제품이 생산되고 있으며 생산되는 제품은 종류별로 16시간에서 39시간까지 다양하며 전력용 변전시스템 제품은 연간 평균 생산량 570대로서 월평균 생산량은 평균 월별 생산량 46.5대 및 평균 일별 생산량은 2.3대가 된다.

Table 2와 같이 주요 공정별 소요시간 및 처리능력을 보면 총 작업시간은 8시간이며 순수작업은 평균 6.5시간 및 휴식시간은 1.5시간으로 동일하다. 그러나 각 공정명 작업인원은 입하, 검사 및 출하공정에서 각 3명, 중판 및 외함 결선조립작업에서 각 4명의 인원으로 총 작업인원은 17명이 공정에 투입되어 작업을 수행하고 있다. 공정별 동시처리능력은 입출

Table 1. Working time and production

| Item | Total production time(hr) | Average working time(hr) | | | Average production per year(unit) |
|------|---------------------------|-------------------------------|--|--------------------|-----------------------------------|
| | | Mould and Connection assembly | Electrical box and connection assembly | Quality inspection | |
| A | 16 | 4 | 6 | 6 | 126 |
| B | 39 | 10 | 14 | 15 | 59 |
| C | 20 | 5 | 8 | 7 | 248 |
| D | 36 | 10 | 14 | 12 | 137 |

Table 2. Total time and throughputs

| Process | Total working time(hr) | Net working time(hr) | Break time (hr) | Worker | Throughputs (unit) |
|--|------------------------|----------------------|-----------------|--------|--------------------|
| Receiving materials | 8 | 6.5 | 1.5 | 2 | 3 |
| Mould and connection assembly | 8 | 6.5 | 1.5 | 4 | 4 |
| Electrical box and connection assembly | 8 | 6.5 | 1.5 | 4 | 4 |
| Quality inspection | 8 | 6.5 | 1.5 | 2 | 3 |
| Shipment of items | 8 | 6.5 | 1.5 | 2 | 3 |

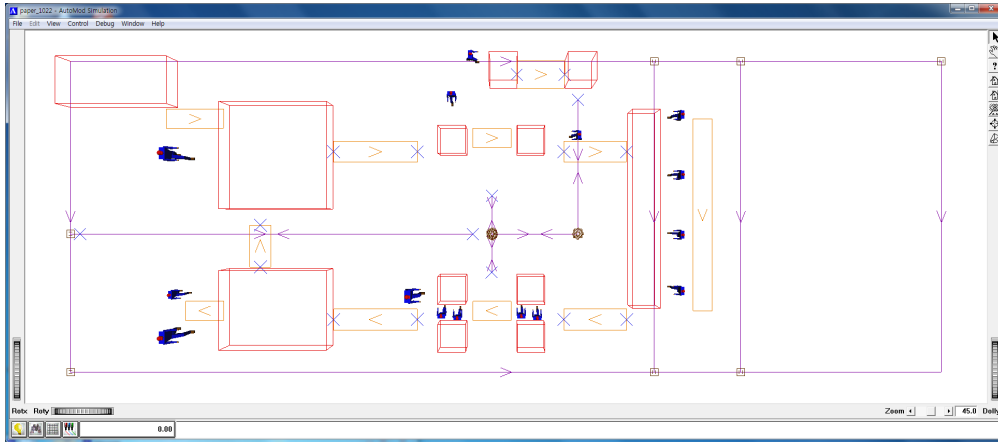


Fig. 2. Simulation realization,

하지점에서 각 3대이고, 중판 및 외함 결선조립작업에서 각 4대이며 품질검사공정에서는 3대로 조사되었다.

본 제조공정은 중량의 전력용 변전시스템을 생산하고 있기 때문에 천정크레인 1대와 지게차 2대가 운영하고 있다. 천정크레인의 평균속도는 1.5 km/h로서 전력용 변전시스템의 공정간 이동을 위해서 사용되고 있다. 지게차의 평균속도는 20km/h로서 공장내 작업장에서 제어반의 이동과 원자재 및 중간재공품의 이동시에 사용되고 있다.

3.3 전력용 변전시스템 제조공정 시뮬레이터 구현

본 연구를 통해서 개발된 시뮬레이터는 AutoMod를 사용하여 Windows 운영체제기반에서 전력용 변전시스템 제조공정의 운영능력을 분석할 수 있다 [11]. AutoMod는 3차원상에서 거리·크기·공간 등과 같은 physical 한계를 정확하게 표현할 수 있다. 또한 제조, 물류 및 배송시스템을 구현할 수 있는 다양한 라이브러리 제공 및 사용자가 시뮬레이션 모델을 쉽고 빠르게 설계할 수 있는 특징이 있는 소프트웨어이다. AutoMod를 기반으로 개발된 시뮬레이터는 Fig. 2와 같이 제조공정을 실시간으로 구현함으로써 시각적인 효과를 높일 수 있을 뿐만 아니라 3차원 모델로 구축되었기 때문에 다양한 방향에서 제조공정의 흐름을 확인할 수 있다.

제조공정 시뮬레이터는 관점지향적 방법을 통해서 Fig. 3과 같이 Event 기반의 부품의 입하에서부터 생산 및 출하에 이르는 일련의 제조를 수행할 수 있

는 운영을 적용하여 개발하였다.

뿐만 아니라 객체지향적 방법을 통해서 제조공정, 제품특성, 작업자 운영 및 제조공정의 운영시간을 제어할 수 있는 시스템을 개발하였다. 본 시뮬레이터는 제조공정의 변화에 따른 다양한 제조공정업무의 재설정 및 새로운 공정의 추가 삽입이 가능하다. 또한 Fig. 4와 같이 제조공정을 새롭게 생성 및 공정별로 필요한 데이터를 손쉽게 입력할 수 있도록 개발되었다. 공정 정의 및 데이터 입력은 GUI (Graphical user

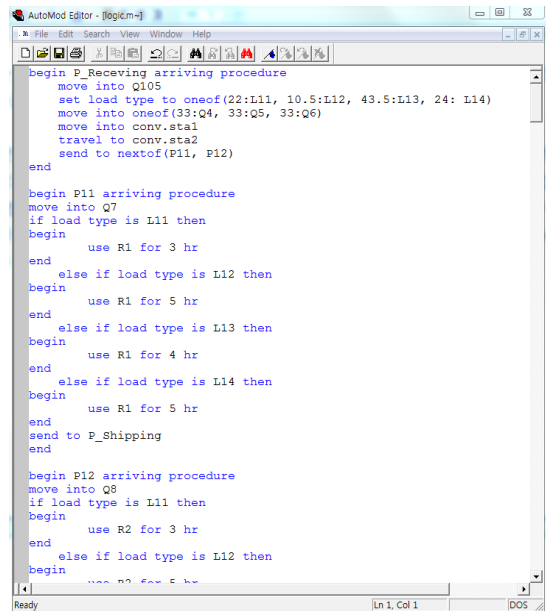


Fig. 3. Operational logic of manufacturing process using aspect-oriented modeling.

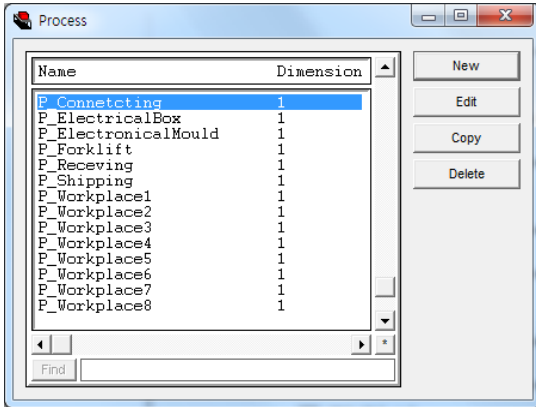


Fig. 4. Developing processes.

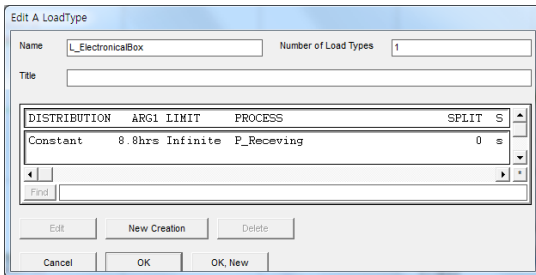


Fig 5. Developing properties of item,

interface) 방식으로 구성된 Windows 창에서 해당 항목을 마우스로 이동 및 변경할 수 있도록 구현하였다. 그리고 제조공정의 다양한 입력데이터를 사용자 요구에 맞춰서 변경이 가능하기 때문에 제조공정의 다양한 여건을 다양한 시나리오 적용을 통한 성능분석을 수행할 수 있다.

본 시뮬레이터는 사용자에게 의해서 생산되는 제품별 특성과 작업자의 특성을 Fig. 5와 과 같이 입력할 수 있도록 구현할 수 있도록 개발하였다. 이로 인해 주어진 입력에 따른 운영결과를 파악할 수 있으며, 다양한 운영 조건 등에 따른 대안별 결과값을 비교

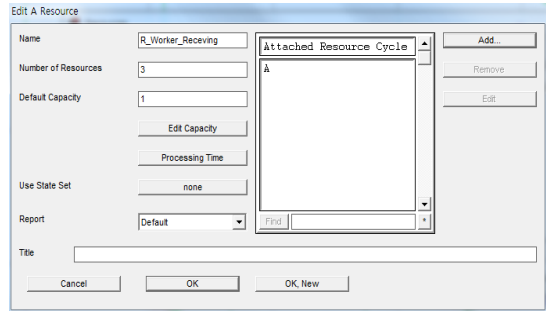


Fig 6. Developing properties of worker.

분석할 수 있다.

전력용 변전시스템 제조공정 시뮬레이터를 운영하기 위하여 A 기업의 실제 운영데이터(작업량, 작업시간, 작업동선 및 작업자 배치 현황 등)를 시뮬레이터 입력데이터로 사용하였다. 총 시뮬레이션 기간은 1년 단위 260일을 수행하였으며 시뮬레이터 수행 후 초기 30일 이후 시스템이 stable state가 되었다. 입력된 데이터를 기반으로 산정된 제조공정별 성능은 Fig. 7과 같이 도출이 되었고 도출된 결과를 정리하면 Table 3과 같다. 자재입하에서는 총 처리량이 580대이며 평균 대기시간은 5.3분이 소요되었다. 중판 및 결선조립작업은 578대를 처리하였다. 외함 및 결선 조립작업, 품질검사 및 제품출하에서는 570대를 처리하였고, 제품출하에서 평균 대기시간이 23.2분으로 가장 길고 자재입하의 대기시간이 5.3분으로 가장 적었다.

공정별로 수행되는 작업자의 작업효율을 산정하면 제품 출하시에 작업효율이 69.5%로 가장 높고, 자재입하의 작업효율이 45.3%로 가장 낮음을 알 수 있다. 본 연구에서 고려되는 작업부하는 휴식시간을 제외한 순수 근무시간을 기준으로 하고 있다. 따라서 현재의 공정에서는 제품출하에서 작업자에게 부과되는 작업량이 타 공정보다도 많기 때문에 작업효율

Table 3. Performance of each process.

| Process | Total throughputs (unit) | Average waiting time(min) | Performance (%) |
|--|--------------------------|---------------------------|-----------------|
| Receiving materials | 580 | 5.3 | 45.3 |
| Mould and connection assembly | 578 | 9.6 | 51.8 |
| Electrical box and connection assembly | 570 | 17.7 | 55.4 |
| Quality inspection | 570 | 19.5 | 57.5 |
| Shipment of items | 570 | 23.2 | 69.5 |

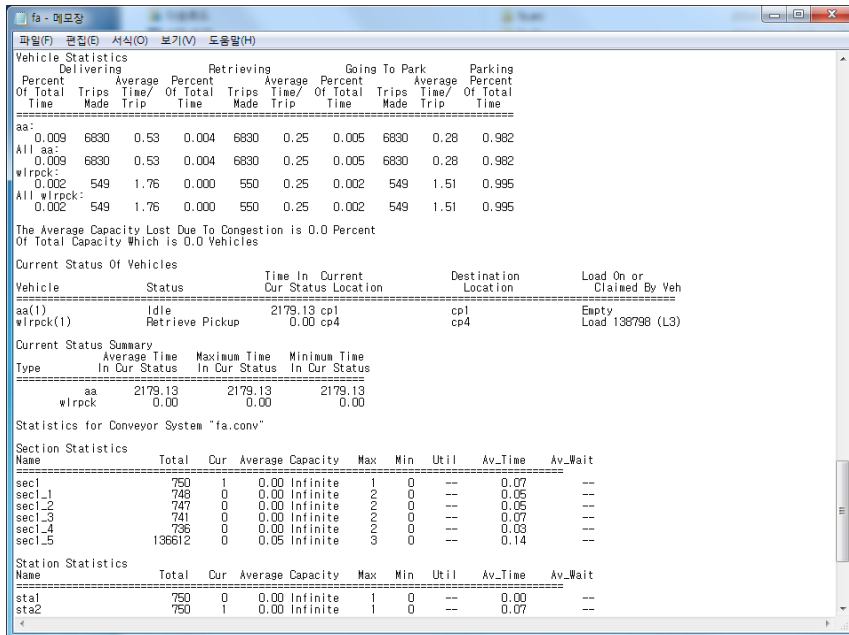


Fig 7. Outputs of the simulator.

이 높은 것을 알 수 있다. 공정내에서 운행되는 장비인 천정크레인은 총 2,100회의 운행을 수행하였고 지게차는 730회의 운행을 통해서 천정크레인은 7회/1일 및 지게차는 2.4회/1일 운행됨을 알 수 있다. 이로 인해 본 연구에서 개발된 시뮬레이터 결과는 실제 제조공정에서 도출된 결과와 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 전력용 변전시스템의 제조공정을 시뮬레이션 기법을 통한 제조공정 시뮬레이터개발을 주요 목적으로 한다. 이를 위해 본 연구에서는 제조공정 시뮬레이터를 관점지향적 방법과 객체지향적 방법을 접목시킨 i-AOMA 방법을 적용하여 개발하였다. 관점지향적 방법을 통해서 Event 기반의 부품의 입하에서부터 생산 및 출하에 이르는 일련의 제조를 수행할 수 있는 방법을 개발하였다. 또한 객체지향적 방법을 통해서 제조공정, 제품특성, 작업자 운영 및 제조공정의 운영시간을 제어할 수 있는 모듈을 개발하여 적용하였다. 본 연구에서 개발된 시뮬레이터는 제조공정의 변화에 따른 새로운 공정이 추가로 요구될 경우에도 GUI 방식으로 구성된 Windows 창에

필요한 공정 정의 및 데이터를 마우스를 통해서 적용 가능하도록 구현하였다. 뿐만 아니라 제조공정의 다양한 입력데이터를 사용자 요구에 맞춰서 변경이 가능하기 때문에, 제조공정의 다양한 여건을 고려한 다양한 시나리오 적용이 가능하고 적용된 시나리오를 통한 제조공정의 성능 변화 및 분석을 수행할 수 있는 특징이 있다. 특히 본 연구에서 고려하는 제조공정은 GT를 기반으로 운영되고 있기 때문에 생산공정의 능력을 산정하는데 많은 어려움이 있다. 하지만 본 연구를 통해서 개발된 시뮬레이터는 전력용 변전시스템 제조공정의 적정 능력 산정 및 신규공정에 필요한 다양한 운영정보를 파악하고 분석할 수 있는 시스템이 된다. 향후에는 제조공정 시뮬레이터의 성능결과를 향상시킬 수 있는 출력변수(성능 특성치)를 가장 좋게 하는 입력변수(의사결정변수)의 값을 결정하기 위해서 개발된 시뮬레이터의 실험횟수 절감 및 최적의 입력변수를 산정할 수 있는 실험계획법까지 적용된 연구를 수행하고자 한다.

REFERENCE

[1] K.K. Cho and B.U. Lee, "A Method of Component-Machine Cell Formation for

Design of Cellular Manufacturing Systems," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 13, No. 4, pp. 143-151, 1996.

[2] B.H. Jeon, S.Y. Jang, W.Y. Lee, and J.H. Oh, "An Evaluation of Development Plans for Rolling Stock Maintenance Shop using Computer Simulation," *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 18, No. 3, pp. 23-34, 2009.

[3] C.H. Yoon, K.H. Ryu, I.C. Lee, and E.S. Byun, "A Simulation Study for Analyzing Digital Doorlock Mixed Assembly Process," *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 10, No. 7, pp. 1439-1445, 2009.

[4] D.H. Moon, C. Song, and J.H. Ha, "A Simulation Study on the Operation of the Painted Body Storage in an Automobile Factory," *IE Interfaces*, Vol. 18, No. 2, pp. 136-147, 2005.

[5] H.S. Hwang and G.S. Cho, "Assembly Performance Evaluation using FACTOR/AIM for Main Body of Automobile Assembly Line," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 27, No. 1, pp. 95-102, 2001.

[6] T.G. Kim and J.J. Lee, "Development of a Graphical Modeler for Manipulating Series Data Based on Object-Oriented Technique," *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 51, No. 2, pp. 43-49, 2009.

[7] J.I. Choi, K.R. Kim, and T.Y. Kim, "A Situational Training System based on Augmented Reality for Developmental Disabled People," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 16, No. 5, pp. 629-636, 2013.

[8] L. Manuj, J.T. Mentzer, and M.R. Bowers, "Improving the Rigor of Discrete-Event Simulation in Logistics and Supply Chain Research," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 39, Issue 3, pp. 172-201, 2009.

[9] G.S. Cho and H.G. Kim, "A Method for Simulation Design of Refrigerated Warehouses using Aspect-Oriented Modeling Approach," *International Journal of Industrial Engineering*, Vol. 20, No. 12, pp. 24-35, 2013.

[10] G.S. Cho and K.Y. Ryu, "A Study on the Business Process Management and Modeling using i-AOMA," *ICIC Express Letters*, Vol. 6, No. 3, pp. 845-850, 2012.

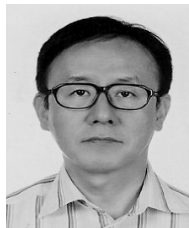
[11] Brooks Automation Inc., *AutoMod 12.0 User's Guide*, USA, 2005.

김 혁



2010년 서강대학교 컴퓨터공학과
공학석사(정보시스템 및
보호전공)
현재 (주)사이엑스 연구소장
관심분야: 정보 및 전기 시스템개
발, 정보보호, HRD 등

이 광 수



1987년 인하대학교 선박공학과
공학석사
2005년 한국과학기술원 자동차
및 설계공학과 공학박사
현재 피스퍼센트(주) 연구소장
관심분야: CAD/E, 전문가시스
템, 창의공학 등

조 규 성



2000년 동의대학교 산업공학과
공학석사
2003년 동의대학교 산업공학과
공학박사
현재 동명대학교 향만물류시스템
학과 조교수

관심분야: 물류시스템, 시뮬레이션, 생산 및 공정시스템
등