웹 기반 공정개선 지원 시스템 개발

글 _ 조현제,조용주/노상도/박유진/배혜림,류광열 한국생산기술연구원/성균관대학교/중앙대학교/부산대학교 hjjo@kitech.re.kr

1. 서론

제품이 복잡해지고, 고객의 요구가 다양해 지면서 빠르게 변하는 시장환경에 대하여 기업의 신속한 대응이 요구되고 있다. 기업에서는 공정분석을 통하여 문제가 되는 요소를 사전에 제거하고 신속한 생산계획을 수립하여 리드타임을 감소시키고 제품생산에 소요되는 비용을 줄이는 다양한 방법들을 통해 외부환경에 대한 신속한 대응과 생산성향상을 시도하고 있다.

특히 국내에서는 대기업과 중소기업간의 기업규모의 격차가 크고 중소기업으로 갈수록 노동생산성이 낮아[1] 원청기업의 요구에 대한 신속한 대응이 어려운 실정으로 이에 대한 해결방안이 요구되고 있다.

생산성향상을 위한 대표적인 방법으로는 디지털생산(Digital Manufacturing) 방법이 있는데, 디지털생산이란 생산시스템의 물리적, 논리적 구성요소들과 거동을 정확히 모델링 하여 통합된 디지털 환경을 구성하고, 3D 모델을 기반으로 시뮬레이션과 같은 컴퓨터 기술들을 활용하여 생산의 모든 과정에 포함된 오류를 사전 검증하고, 의사결정을 지원함으로써 신속하고 효율적인 제품 개발 및 제조를 실현하려는 기술이다[2].

디지털생산은 실제 생산이 일어나기 전에 컴퓨터를 이용하여 선행적으로 문제를 파악 할 수 있기 때문에 일반적으로 운영계획 및 생산과정에서 재고감소를 통하여 10%정도의 비용 절감효과와 최적화된 공장 배치를 통하여 25%에 달하는 설비감소효과, 원자재 흐름을 최적화 하여 35%의 비용절감효과를 가져올 수 있다[3].

국내에서는 디지털생산을 활용하여 자동차 조립공장을 대상으로 분산된 다수의 계획자가 웹과 3차원 DMU(Digital Mock-Up) 환경에서 동시에 자재배치를 수행할 수 있는 시스템을 개발한 사례가 있고[4], 최무웅 등은 자동차 상용 트럭 조립 라인을 대상으로 디지털생산을 구현하여 현행 체계(AS-IS)와 목표 체계(TO-BE)에 대한 물류 검증 등의 운영 시나리오들에 대한 분석을 수행하였다[5].

디지털생산의 많은 장점과 연구에도 불구하고 중소기업에서 이를 활용하기는 쉽지 않다. 디지털생산을 활용하기 위해서는 많은 노력이 필요한데, 특히 3D 모델과 각 제조공정에 대한 정보들을 얻는데 시간과 비용이 많이 들게 된다. 3D 모델을 위해서는 CAD를 활용하여 공장과 제품에 대하여 3차원 모델링이 수행되어야 하고, 각 공정에 대한 정보를 얻기 위해서는 제품이 각 공정에서 처리되는 시간(cycle-time)이나 다음 공정으로 전달되는 방법(dispatch rule)에 대한 분석과 소프트웨어적인 프로그래밍이 필요하기도 하다.

또한, 디지털생산을 지원하는 소프트웨어의 가격이 고가이고, 이를 다룰 수 있는 전문인력이 부족한 것도

중소기업에서 디지털생산을 활용하는 것을 방해하는 주요 원인이다.

본 논문에서는 중소기업의 생산관리 담당자가 쉽게 접근하고 사용할 수 있는 디지털생산을 지원하는 웹 기반의 공정개선 지원 시스템을 소개하고자 한다.

2. 웹 기반 공정개선 지원 시스템

2.1 개요

웹 기반 공정개선 지원 시스템은 디지털생산을 통하여 제조공정의 혁신을 이루어 중소기업의 경쟁력을 향상시키기 위하여 기획되었기 때문에 다음과 같은 목표를 가지고 개발되었다.

- 중소기업의 생산관리 담당자가 언제 어디서나 사용이 가능해야 한다.
- 전문인력의 도움 없이도 빠르고 편리하게 활용이 가능해야 한다.
- 소프트웨어의 사용료가 저렴하여야 한다.

이를 위하여 공정개선 지원 시스템의 운영환경을 웹 기반으로 하여 시간과 공간의 제약을 없앴고, 제품별로 일반적인 제조공정 순서를 정형화하여 템플릿 형태로 제공함으로써 템플릿들의 조합만으로도 제조공정에 대한 시뮬레이션이 가능하도록 하였다. 또한 디지털생산을 지원하는 하나의 시뮬레이션 소프트웨어 자원을 여러 사용자가 나누어 사용할 수 있도록 개발하였다.

웹 기반의 시스템이라고 하더라도 시스템 사용자는 로컬 컴퓨터에서와 마찬가지로 소프트웨어를 사용하는 데 있어서 빠르고 편리한 사용성을 느낄 수 있어야 한다. 따라서 끌어놓기(drag and drop) 등의 편리한 사용자인터페이스(UI)와 빠른 응답 속도를 통한 다이내믹한 웹 환경을 지원하기 위해서 HTML기반이 아닌 Web 2.0 RIA(Rich Internet Application)기반으로 본 시스템을 개발하였다.

RIA란 웹 응용프로그램이 가지는 장점을 유지하면서, 서버-클라이언트 기반의 데스크톱 응용프로그램이 가지는 편리한 사용자 인터페이스와 빠른 응답 속도의 장점을 흡수한 새로운 웹 응용프로그램 기술을 의미한다. 기존의 HTML기반의 웹 프로그램에 비하여 RIA는 다음 표와 같은 강점을 지니고 있다. 본 시스템은 RIA를 지원하는 제품 중 마이크로소프트의 실버라이트(Microsoft Silverlight)를 사용하여 개발하였다.

Table 1. RIA capabilities can improve the user experience [6]

User experience principle	The HTML experience	How RIAs improve the user experience
Control	Users are limited to a linear process when they use site functionality like shopping carts.	Users move back and forth between steps in a process, quickly and easily.
Direct manipulation	Click and wait for a new page to download.	Users drag and drop data freely around the screen.
Forgiveness	To undo or modify actions - like changing data in multipage forms - users must back up and may lose data when pages refresh.	Users can undo actions or change data input without long waits or the risk of lost data.
Feedback	Users have to wait for page refreshes to find out whether the site did what they wanted it to do.	System response to user inputs and changes is immediately visible.
Error handling	Field validation often requires a server call. Error message windows can appear disconnected from areas on a page that require attention.	Form fields are validated in real time as users fill them in - problem areas get highlighted before the form is submitted.
Efficient task flow	Processes are broken up into separate pages with server calls in between.	Whole processes contained on a single "page" flow smoothly from end to end.

2.2 웹 기반 공정개선 지원 시스템의 구성

웹 기반 공정개선 지원 시스템은 그림 1에서 보여지는 것과 같이 크게 3개의 도구로 이루어져 있다.

(a) 공정템플릿

(b) 온라인 공정혁신 도구

(c) 시뮬레이션 기반 최적화 도구

공정템플릿은 앞에서 기술된 바와 같이 제품별 공정순서를 정형화하여 시뮬레이션이 가능하도록 제공되는 템플릿이며, 시뮬레이션 기반의 공정 최적화 도구는 시뮬레이션 데이터를 이용하여 공정을 최적화 할 수 있는 최적화 기법들을 지원하는 도구이다. 온라인 공정혁신 도구는 사용자와 시뮬레이션 엔진, 공정템플릿, 그리고 공정 최적화 도구를 연계하여 공정 모델링과 시뮬레이션을 수행하고, 그 결과를 보고하는 웹 기반 공정개선 지원 시스템의 핵심 도구이다.

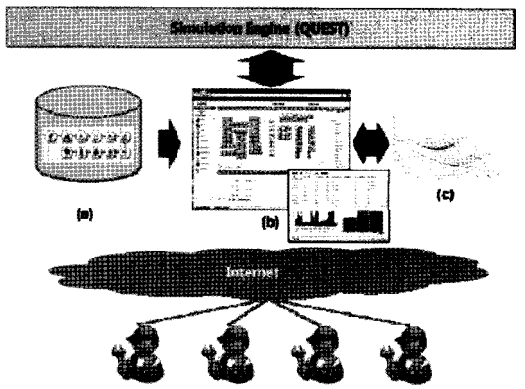


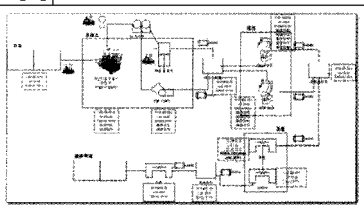
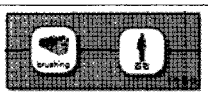
그림 1. The overview of the web-based manufacturing process design system.

2.3 공정템플릿

공정 템플릿은 제조 기업의 공정 흐름의 분석을 통해 업종의 특징을 반영한 표준 프로세스 흐름을 의미한다. 따라서 공정 템플릿에는 업종별, 생산 유형별로 조사된 대표적인 제조공정이 포함되어 있다. 공정템플릿은 비슷한 유형과 업종을 가진 제조기업이 자사의 공정을 모델링 할 때, 활용할 수 있도록 하여 공정 모델링과 분석에 소요되는 시간을 줄일 수 있도록 하였다.

공정템플릿 개발 절차는 우선 특정산업의 주요 제품을 선정하고 제품을 생산하는 순서와 해당 리소스를 분석한 다음, 주요 공정 순서 및 필요한 정보를 분석한다. 최종적으로 분석된 공정은 리소스의 위치와 순서에 따라 레이아웃을 결정하고, 시뮬레이션을 위한 중립스키마인 XML형식으로 템플릿화하여 다음에 설명될 온라인 공정혁신도구에서 활용할 수 있도록 한다. Table 2는 공정템플릿을 개발하는 절차의 예를 보여주고 있으며, 본 연구에서는 약 20개 제품에 대한 공정분석과 30개의 공정템플릿이 개발되었다.

Table 2. An example of the development procedure for process templates.

프로세스	예시	
주요생산품 선정	자동차 도어 힌지(Door hinge) 관련 부품 생산	
공정분석 및 리소스 분석	프레스 공정	유압커팅기, 자동프레스(50~200t), 수동프레스(30~250t)
	용접공정	Spot 용접 기, 로봇 용접 기
	조립공정	리벳 기
공정 레이아웃		
템플릿 생성	프레스 공정	
	용접공정	
	조립공정	

2.4 온라인 공정혁신 도구

2.4.1 온라인 공정혁신 도구 개요

앞에서 기술된 바와 같이 온라인 공정혁신 도구는 사용자-공정템플릿-시뮬레이션 소프트웨어를 연계하는 핵심 도구로서, 개발된 공정템플릿들을 활용하여 조합하고 수정함으로써 각 제조회사의 특성에 맞도록 공정 모델링을 지원하고, 모델링 된 공정모델을 시뮬레이션 소프트웨어에 넘겨 시뮬레이션을 수행한 결과를 다시 사용자에게 보여 주는 기능을 수행한다.

본 도구는 회사 내의 여러 사용자가 각자의 권한을 가지고 함께 작업을 할 수 있도록 협업시스템을 지원한다. 사용자가 가질 수 있는 권한은 3가지로 나뉘어지는데, 프로젝트의 생성, 삭제 및 사용자 관리가 가능한 관리자권한과 모델 수정 및 시뮬레이션 결과보기가 가능한 참여자권한, 그리고 수정이 불가능하고 단지 시뮬레이션 결과만 볼 수 있는 관찰자권한이 있다. 다음은 본 도구가 가지는 주요 특징을 정리한 것이다.

- 사용자 관리 및 협업 지원.
- 공정템플릿 및 라이브러리 관리.
- 공정 모델링 지원.
- 시뮬레이션 연계 지원.
- 시뮬레이션 결과 제시.

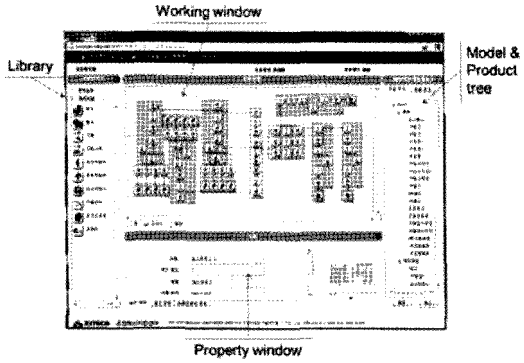


그림 2. The User Interface of the online process innovation tool.

템플릿과 라이브러리(리소스)를 활용하여 공정 모델링이 가능하도록 하기 위하여 본 도구에서는 그림 2와 같은 사용자인터페이스를 지원한다. 사용자인터페이스 화면은 크게 4개의 창으로 구성되는데, Library, Working window, Property window, Model & Product tree가 있다.

• Library

모델링을 위한 객체(기계, 저장소, 작업자 등)들인 라이브러리와 공정템플릿을 관리(추가/삭제/속성변경)한다. 사용자는 이 창에서 라이브러리와 템플릿을 Working window로 끌어와서 모델링을 할 수 있다.

• Working window

공정 모델링을 위한 주요 작업 창으로 화면의 축소/확대/이동이 가능하고, 작업 창 내의 객체 및 템플릿에 대하여 그룹/그룹해제, 복사/붙여 넣기, 이동/삭제 등의 기능을 지원한다.

• Property window

Working window내의 객체를 선택하면, 선택된 객체에 대한 정보가 여기에 표시된다. 표시되는 정보는 객체의 이름, 위치, 크기와 같은 일반적인 내용과 객체가 수행하는 작업형태(working type), 로트크기(lot size), 설치시간(setup-time), 공정시간(cycle-time), 고장(failure)과 같은 시뮬레이션과 관련된 내용이 포함된다.

• Model & Product tree

Model tree는 Working window에 있는 객체들을 트리구조 형태로 보여 주고, Product tree는 완제품의 BOM(Bill Of Material) 정보를 트리구조 형태로 보여준다. BOM 정보는 Product tree에서 생성/삭제가 가능하다.

2.4.2 시뮬레이션 연계

시뮬레이션 소프트웨어와의 연계는 그림 3에서 보여지는 바와 같이 총 5단계로 이루어 진다. 우선 온라인 공정혁신 도구를 이용하여 모델링을 하면, 모델은 XML형식의 중립포맷으로 저장된다. 중립포맷은 다시 컨버터를 거쳐서 시뮬레이션 소프트웨어의 고유 포맷으로 변경되어 내부적으로 모델을 재 구성하여 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션의 결과는 다시 중립포맷에 담겨 온라인 공정혁신 도구에서 결과를 보여 주게 된다.

본 연구에서는 시뮬레이션 소프트웨어로 다쏘시스템의 QUEST를 이용하였고, QUEST의 스크립트 언어인 BCL과 SCL로 중립포맷을 변환하여 QUEST가 전달된 BCL과 SCL을 이용하여 모델을 재구성하고 시뮬레이션 하도록 하였다.

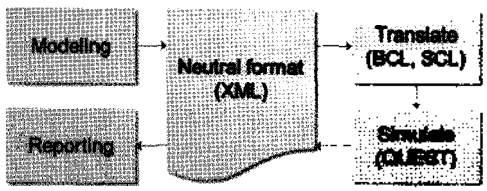


그림 3. The simulation process of the online process innovation tool

온라인 공정혁신 도구와 QUEST를 연계하는 중립포맷은 국제표준인 PLM Services와 산업표준인 SDX(Simulation Data eXchange)를 참조로 개발된 시뮬레이션 스키마를 사용하였는데[7], 단순히 QUEST뿐만 아니라 다양한 시뮬레이션 엔진에 활용될 수 있도록 상호운용성을 고려하여 개발되었다.

중립스키마의 구조는 그림 4에서 보여지는 바와 같이 크게 일반정보, 공정모델정보, 시뮬레이션실행정보, 실행결과정보로 이루어져 있다.

• 일반정보

일반정보는 프로젝트의 아이디(ID), 버전(Version)과 같은 일반적인 정보를 담고 있고 하나의 프로젝트가 여러 버전을 가질 때는 각 버전마다 일반정보를 가지게 된다.

• 공정모델정보

공정모델정보에는 모델링 된 공정모델의 정보를 표현하기 위한 제품, 공정, 자원, 공장, 흐름(물류)에 대한 정보를 가지고 있고, 하나의 공정모델이 여러 개의 하부 정보들을 가질 수 있다.

• 시뮬레이션실행정보

시뮬레이션 실행 정보는 시뮬레이션 소프트웨어로 넘겨서 시뮬레이션을 하기 위해서 필요한 정보들을 담고 있다.

• 실행결과정보

실행결과정보에는 시뮬레이션을 수행한 후, 그 결과를 저장할 수 있다.

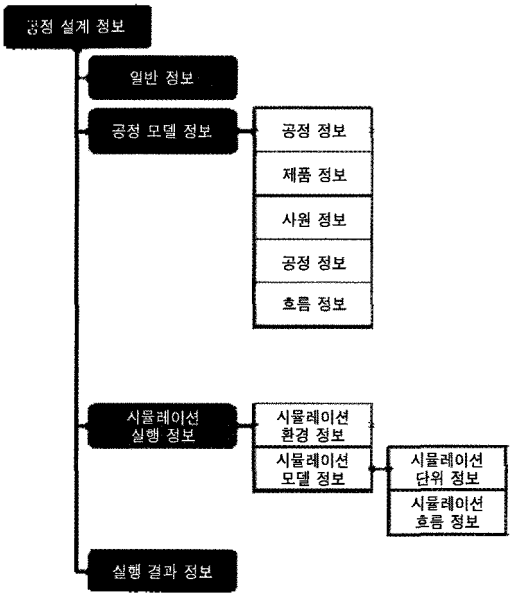


그림 4. The structure of the neutral scheme.

2.4.3 시뮬레이션 결과제시

본 도구는 공정을 모델링 한 결과를 시뮬레이션 소프트웨어에서 실행을 시킨 후, 그 결과를 다시 사용자에게 보여 줄 수 있는데, 그림 5와 같이 그래프와 테이블로 표시된다. 온라인 공정혁신 도구에서 표시할 수 있는 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

• 개요

시뮬레이션 시간, 최대가동률 자원, 최소가동률 자원.

• 제품정보

최소/최대 상주 시간, 원자재 투입량, 제품 산출량, 재공품의 수량.

• 자원

유휴상태시간, 작업상태시간, 평균작업시간, 가동률, 평균 상주시간.

• 저장소

유휴상태시간, 작업상태 시간, 제품 생성 수, 제품생성 비율, 완성제품 수.

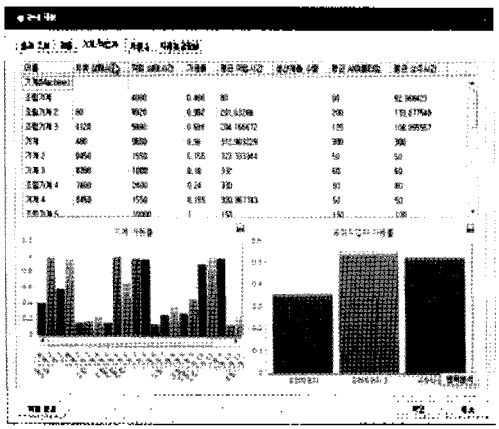


그림 5. An example of the simulation result on the online process innovation tool.

2.5 시뮬레이션 기반 최적화 도구

시뮬레이션으로 현재의 공정조건에 대하여 총 생산량이나 설비의 가동률 같은 사용자가 원하는 결과를 알 수 있다. 하지만 시뮬레이션만으로는 단일 공정 조건(입력 값)에 대하여 사용자가 이루고자 하는 결과(목적 값)에 대해 단편적인 수치만을 알 수 밖에 없기 때문에, 어떤 공정 조건에서 최상의 결과가 나올 수 있을 지 예측하기가 매우 어렵다.

예를 들어 현재의 공정 조건에서 총 생산량이 80인데, 총 생산량을 100으로 할 수 있는 공정 조건이 어떻게 되어야 할 것이며, 총 생산량을 100으로 할 수 있는 공정 조건 들 중에서 가장 노력이 적게 들이면서도 가능한 조건이 어떤 것인지를 시뮬레이션만으로는 파악하기 어렵다.

따라서 시뮬레이션을 이용하여 최적의 공정 조건을 찾기 위해서는 공정 조건을 다양하게 바꾸어 가면서 이루고자 하는 결과가 어떻게 나오는지 여러 번 반복하면서 시뮬레이션을 수행하여야 한다.

하지만 이 방법은 어떤 조건이 최상의 결과를 나타낼 지 전혀 예상할 수 없는 상태에서 단지 시뮬레이션을 반복적으로 수행하면서 제시된 결과들 중에서 최상의 값을 선택하기 때문에 다분히 시간과 비용을 소비하는 작업이 되며, 공정 조건이 많아 질수록 소비되는 시간과 비용이 기하급수적으로 늘어나게 되고, 또 실제 그 결과가 최고의 결과인 지 장담할 수도 없다.

시뮬레이션 기반 최적화 도구는 시뮬레이션 데이터를 기반으로 최적의 공정조건을 찾을 수 있도록 이미 검증된 통계, 수리적인 방법론들을 시스템으로 구현되었다. 따라서 사용자는 최적화 도구를 활용하여 최소의 시뮬레이션 수행으로부터 최대의 결과가 나올 수 있는 공정조건을 찾을 수 있다.

본 최적화 도구에서는 회귀분석모형(Regression model), 부분요인설계법(Fractional factorial design), 완전요인설계법(Factorial experimental design), 혼합모형법(mixed-effects model), 단계적회귀분석법(Stepwise regres-

sion analysis), 경사탐색기법(Gradient search method) 등의 수리, 통계적인 방법론들을 제공한다.

그림 6은 최적화 도구를 이용하여 최적의 공정조건을 찾는 과정을 보여주고 있다. 우선 시뮬레이션에 입력되어야 할 공정조건의 최대, 최소 값과 주로 사용하는 활용 값을 최적화 도구에 입력하면, 내부적으로 실험계획법 등의 방법을 사용하여 사용자가 이루고자 하는 결과에 가장 영향을 많이 미치는 공정조건들을 구하고 이를 기반으로 시뮬레이션을 수행한다.

이렇게 되면 모든 공정조건에 대한 시뮬레이션을 수행할 필요가 없기 때문에 시뮬레이션 해야 할 회수가 줄어 들게 된다. 입력된 공정조건과 시뮬레이션 된 결과 값을 다시 최적화 도구에 입력하면 최적화 기법을 이용하여 최적의 공정조건을 찾아 준다.

3. 적용사례

본 연구에서 웹 기반 공정개선 지원 시스템을 자동차 부품인 Cross-member를 생산하는 제조 기업을 대상으로 적용하여 보았다. 해당 제품의 제조 공정은 용접->도장->조립 공정의 순으로 이루어져 있으며, 각각 용접공정이 3개의 라인으로, 도장공정이 1개의 라인, 조립고정이 3개의 라인으로 구성되어 있다. 각 공정은

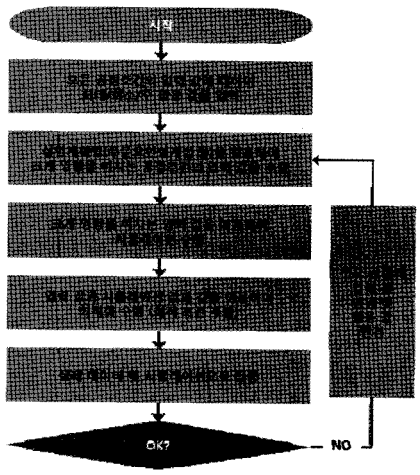


그림 6. The optimization process with the optimization tool.

다음 그림과 같이 구성되어 있고, 다양한 제품의 생산 요구와 잦은 생산계획 변경으로 인하여 각 라인의 운영 효율 저하로 인하여 현재의 공정조건에서 생산량을 올리는 방안을 찾고자 하였다.

온라인 공정혁신 도구를 이용하여 그림 7의 공정순서에 대하여 모델링을 수행하였다. 용접공정과 조립공

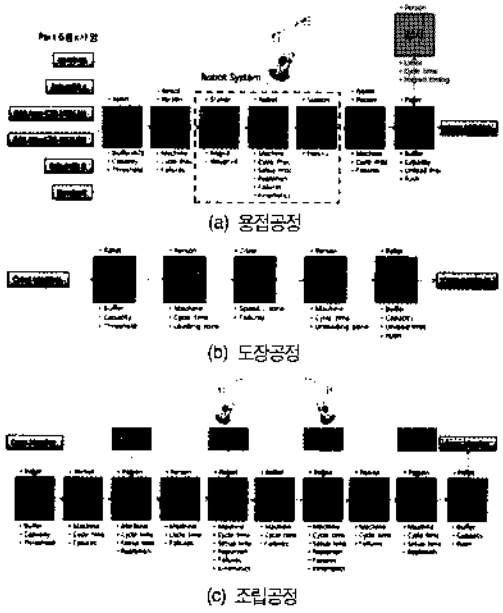


그림 7. Production processes for a cross-member manufacturer.

정은 공정템플릿을 확장하여 사용하였으나, 도장공정은 공정템플릿이 없어서 새로이 모델을 생성하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 8은 온라인 공정혁신 도구로 모델링이 완성된 화면과 이를 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과를 보여 준다. 용접공정 3번째 라인의 마지막 용접기계에서 병목현상 발생함을 발견하였고, 해당 기계의 처리능력을 높여 병목현상을 해결하면 생산량이 기존 보다 27% 향상 될 수 있다는 예상 결과를 도출할 수 있었다.

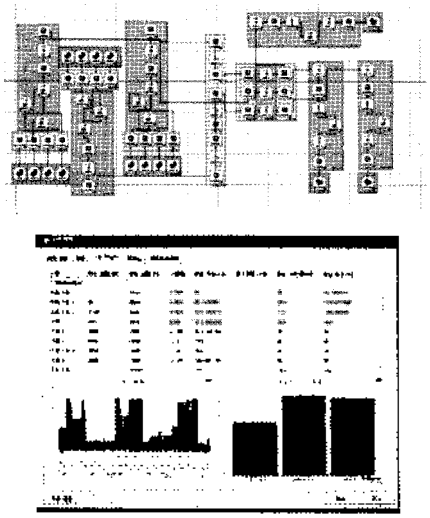


그림 8. The process model and the result of the simulation.

4. 결론

적용사례에서, 공정템플릿과 쉬운 인터페이스를 가진 본 시스템을 이용하여 모델링하고 시뮬레이션 한 기간이 QUEST만으로 모델링 하고 시뮬레이션 하였을 때와 비교하면 1달에서 3일로 모델링 시간이 감소하였고, QUEST만으로는 불가능하였던 병목공정에 대한 분석이 가능하였다.

이는 본 시스템이 중소기업의 생산관리 부서에서 누구나 쉽게 활용할 수 있는 디지털생산을 위한 웹 기반의 공정개선을 지원하는 시스템 될 수 있으며, 본 시스템을 활용함으로써 중소기업에서 공정계획 및 스케줄 작업에 시간과 비용을 줄일 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

그러나 현재 개발된 도구들이 상호 긴밀하게 연계되어 동작할 만큼 시스템적으로 완성도가 높지 않기 때문에 이에 대한 완성도를 높일 필요가 있으며, 단지 온라인으로 지원되는 시스템만으로는 중소 제조기업의 생산성 향상을 꾀할 수는 없기 때문에 중소기업의 생산성을 향상 시키기 위하여 오프라인으로 지원할 수 있는 방안의 연구가 진행될 필요가 있다.

또한 다쏘시스템의 QUEST를 시뮬레이션 엔진으로 활용하였기 때문에 라이선스 문제들로 인하여 본격적인 서비스 시에 문제가 발생할 여지가 있어 시뮬레이션 엔진을 자체적으로 개발 중이다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부가 출연하고 한국생산기술연구원에서 시행한 전략기술개발사업인 "DMS 연계형 생산지원 플랫폼 기술 개발(10031960)"과 기관고유임무형 국제공동연구사업인 "그린 제조공정 구현을 위한 Biomass 이용 기반기술 및 Grid 기반 엔지니어링 서비스 아키텍처 개발 연구" 과제의 지원으로 이루어진 것으로, 본 연구를 가능하게 한 지식경제부에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 김수철, "대중소기업 생산성 분석과 동반성장 방향", 중견기업연구, 제1권 제2호, pp. 85~99, 2010.
2. Lee, K. I. and Noh, S.D., "Virtual manufacturing system - a test bed of engineering activities", Annals of the CIRP, Vol.46, No.1, pp.347~350, 1997.
3. CIMDATA, "The Benefits of Digital Manufacturing", White paper, December, 2002.
4. 노상도, 박영진, "디지털공장을 이용한 자동차 조립공장의 자재계획 및 정보관리", 한국CADCAM학회 논문집, 제9권, 제4호, pp.325~333, 2004.
5. 최부응, 한승택, 서정훈, 우종훈, 이춘재, 최양렬, "자동차 조립 라인의 디지털 생산 구축 사례연구", 한국CADCAM학회 논문집, 제10권, 제3호, pp.199~209, 2005.
6. Ron Rogowski. "Smackdown: Rich Internet Applications Versus HTML", Forrester Research Best Practices, December 7, 2006.
7. 진유의, 조문빈, 이인, 정석화, 임수빈, 박양호, 강형석, 이주연, 정연경, 노상도, 조현제, 조용주, "웹 2.0 기반의 공정 모델링과 생산 시뮬레이션 연계에 관한 연구", 2011 한국CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp. 777~781, 2011.