

제어 시뮬레이션을 위한 템플릿기반 공정 모델링 방법론

신혜선*, 고민석**, 홍상현***, 박상철****, 왕지남*****

A Template Based Process Modeling Methodology for Control Simulation

Hyeseon Shin*, Minsuk Ko**, Sang Hyun Hong***, Sang Chul Park**** and Ginam Wang*****

ABSTRACT

Product systems are quickly and frequently changed because Product Life Cycle is continuously reduced and adopting new product is steadily fast. Thus, various studies are progressed using simulation which is one of digital manufacturing. The research that is concerning simulation of control verification for shorten the commissioning which has a lot of trial and error is in progress. Also, simulation of control verification has strength that it can catch the errors in advance. However, a control program in simulation needs virtual factory for representation of control information. For this reason, excessive time and energy is put into controlling the virtual factory. So, in this paper, we construct library which is using exist data, in order to overcome limitation of these problems. Furthermore, we suggest methodology which can model and verify the process more speedy using library. Especially, we give body to the BB/BR Line process which has many altering equipment and need high technology effectively using physical and logical modeling. We can set up a control simulation environment very rapidly, as well as cut process time down using our suggestion.

Key words : Automotive, Control Simulation, PLC Program, Template, Verification, Virtual Factory

1. 서 론

새로운 제품의 도입이 잦아지고, 제품의 수명주기가 짧아짐에 따라 제조기업은 시장 수요에 빠르게 대응할 수 있는 생산시스템을 구축하고자 많은 노력을 기울이고 있다. 만약, 시장 수요에 유연하게 대처하지 못하는 생산 체계를 보유한 기업이라면, 소비자로부터의 기업경쟁력 및 신뢰도가 크게 추락하게 될 것이다. 이러한 문제를 해결하고자 많은 제조기업들은 제품의 기획, 계획단계에서부터 생산, 소멸까지 전체적인 제품 수명 주기를 고려하는 PLM(Product Life Cycle Management) 직 접근 방법을 도입하고 있다^[1].

이러한 PLM의 영역 중에서도 디지털 제조(Digital Manufacturing) 기술을 이용한 시뮬레이션 도입이 산업 전반에 확산되고 있다^[2]. 여기서 디지털 제조란 생산 시스템을 구성하는 설비들을 가상 설비 모델로 모델링하고, 이 모델을 이용해 가상환경에서 제조, 운용, 동작해 봄으로써, 현장에서 발생할 수 있는 문제를 사전에 예측, 검증해 보는 것을 말한다. 제조기업들은 이러한 디지털 제조를 적용함으로써 생산 시스템 설계에 필요한 의사 결정 및 기계적, 전기적 실재를 효과적으로 수행할 수 있으며 그 결과로, 시장 수요에 유연하게 대처할 수 있는 효과적 제조시스템을 실현할 수 있다^[3].

Fig. 1은 이전에 생산 시스템에서 디지털 제조 기술이 적용되지 않았을 때의 일반적 제조 프로세스를 나타낸다. 이 같은 과거 프로세스에서, 생산 시스템의 검증은 설비설계 및 제어 프로그램의 작성 이후 단계에서 진행되었다. 따라서, 생산 시스템 검증 시점이 전체 프로세스의 하단에 위치하기 때문에, 검증단계에 발생하는 오류를 상위 설계 단계로 피드백(Feedback)하는 것이 매우 어려웠다^[4]. 이 같은 비효율적 프로세

*학생회원, 아주대학교 산업공학과

**교신저자, 학생회원, 아주대학교 산업공학과

***정회원, 현대기아 자동차 설비제어 기술팀

****종신회원, 아주대학교 산업공학과

*****비회원, 아주대학교 산업공학과

- 논문부고일: 2011. 03. 10

- 논문수정일: 2011. 03. 10

- 심사완료일: 2011. 08. 08

스는 제품의 “설계-검증-생산” 사이클의 기간을 증가시키기 때문에, 기업 경쟁력 후퇴와 생산시스템 안정화의 어려움을 야기시킨다.

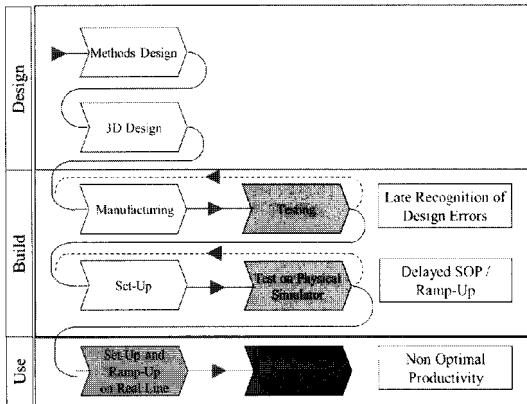


Fig. 1. Manufacturing Process of Traditional.

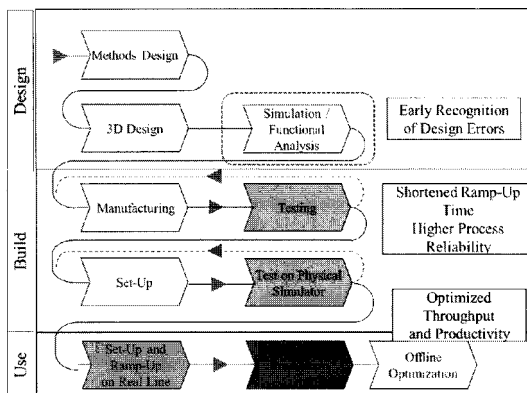


Fig. 2. Manufacturing Process with Digital Manufacturing.

반면, Fig. 2와 같이 디지털 제조 기술을 적용한 생산시스템은 설비 설계 및 설치, 시스템 운용의 각 단계에서 시뮬레이션을 통한 오류 검증을 수행할 수 있기 때문에, 과거 생산시스템의 설계-검증 주기를 효과적으로 단축시킬 수 있다¹⁶. 특히, 가상환경 기반의 생산시스템 설계 및 검증 기술은 설비의 기계적 오류 및 제어프로그램의 진기적 오류를 현장 설치 이전 단계에서 검증하고, 그 결과를 반영할 수 있기 때문에 생산시스템의 안정화 및 최적화에 큰 기여를 할 수 있다.

신제품 도입 주기가 짧은 자동차 산업은 신차 개발부터 양산까지의 각 단계에 디지털 제조 기술을 적극적으로 도입하여, 기존 제조프로세스의 낭비적 요소를 개선한 대표적 제조 산업이다. 따라서 설계-생산 사이클의 각 프로세스에 디지털 제조 기술을 적용한

연구가 활발히 수행되고 있는데, 그 중에서도 로봇 OLP(Off-Line Programming)¹⁶⁾와 제어프로그램 검증을 위한 가상생산 기반 시뮬레이션 연구¹⁶⁾가 활발히 진행되었다. 또한 컴퓨터 능력 및 그래픽 효율화의 기술이 발전함에 최근, 라인 및 공장 단위를 대상으로 하는 “가상 모델 기반 제어프로그램 검증 시뮬레이션”에 대한 연구가 진행되고 있다. 이는 Shot down 기간에 수행되는 공정 시운전 작업을 Off-Line 상에서 시뮬레이션 하는 기술로써, 가상 생산 시스템과 현장의 PLC(Programmable Logical Controller) 프로그램을 연동하여 시운전 환경 구축, 운용, 검증하는 것을 목적으로 한다. 그러나 PLC 프로그램은 오직 제어 정보만을 담고 있기 때문에, 가상 시운전 시뮬레이션 환경 구축을 위해서는 Fig. 3과 같이 이에 대응하는 3D 모델 및 논리적 모델(Logical Model)이 반드시 필요하다¹⁷⁻¹⁹⁾.

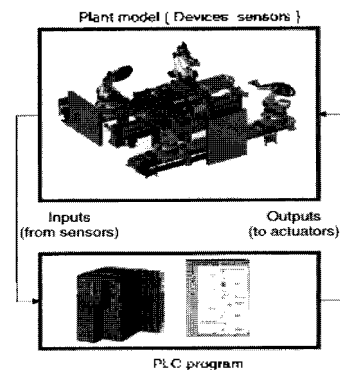


Fig. 3. PLC Simulation Construction.

하지만, 기존의 연구들은 가상환경기반 제어 시뮬레이션 환경 구축을 위한 그래픽 모델¹⁶⁾과 논리 제어 모델의 생성 및 인동¹⁹⁾을 위한 기술연구에 한정되었기 때문에, 구축된 모델들의 재사용에 대해서는 한계를 가진다. 이러한 시뮬레이션 모델 데이터 재사용의 한계를 극복하기 위해, 본 연구에서는 제어 시뮬레이션을 위한 템플릿 기반 공정 모델링 방법론을 제안하고자 한다. 이는 기존 모델이 갖는 공정 정보 및 제어적 특징을 기반으로 템플릿을 구축함으로써, 보다 빠른 시간에 제어프로그램 검증 시뮬레이션 구성 모델들을 구축할 수 있도록 하며, 나아가 데이터 재사용을 가능하게 한다.

본 논문의 제 2장에서는 제어프로그램 검증 시뮬레이션에 템플릿을 사용하기 위한 방법론에 대해 설명하고, 제 3장에서는 제안하는 방법론에 사용되는 3D 모델과 논리적 모델에 대한 정의 및 구조를 설명할 것

이며, 제4장에서는 제안하는 방법론을 실제 공정에 적용하기 위한 구축 방법을 말할 것이고, 제 5장에서는 결론을 말할 것이다.

2. 템플릿 기반 라이브러리의 구축을 위한 접근방법

Fig. 4는 자동차 공정에 적용되는 “가상 작업장 기반 제어 시뮬레이션” 환경 구축을 위해 필요한 일반적인 프로세스를 나타낸다. 이를 구성하는 정보는 크게 물리 모델(Physical Model)과 논리 모델(Logical Model), 그리고 합성 모델(Synthetic Model)로 나뉘는데, 물리적 모델은 실제 설비와 동일한 형상(Geometry) 및 동작(Motion) 정보를 갖는 3D 설비 모델을 말하며, 논리적 모델은 PLC 제어 프로그램 정보를 기반으로 만들어진 이산 사건 모델(Discrete Event Model)을 의미하고, 합성 모델은 물리 모델과 논리 모델을 연결하여 제어코드와 직접 연동되는 모델을 말한다. 제어 시뮬레이션 환경 구축을 위해서는 앞서 언급한 세 종류의 모델이 구축이 진행되어야 한다. 또한 시뮬레이션의 수행을 위해서 작성된 최종 합성 모델에 제어코드의 심볼(Symbol)을 연결하는 작업이 필요하다.

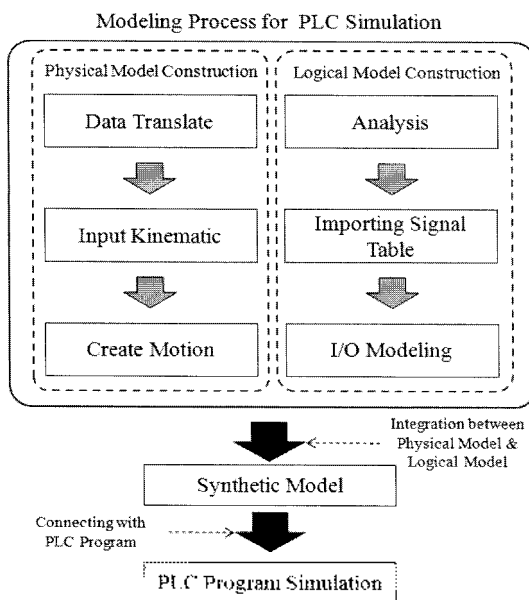


Fig. 4. A process for simulation of PLC program.

2.1 물리모델 구축(Physical Model Construction)

과거의 제어프로그램 검증 시뮬레이션에서는 3D CAD

래퍼에 대한 중요성이 부각되지 않았지만, 설비와 로봇간의 시퀀스 진행상황에 대한 내부 논리회로 검증이 요구됨에 따라, 3D데이터기반의 시뮬레이션이 일반적인 프로세스로 인식되고 있다⁸⁾. 이를 위해 실제 단계의 데이터를 기반으로 물리모델을 작성해야 하는데, 이를 구축하기 위해서는 제품 및 설비의 3D데이터를 변환(Translate), 모델링 및 배치하는 것이 가장 먼저 선행되어야 한다. 하지만 현업 인터뷰 결과, 본 과정에서 데이터 수집 및 변환에 많은 시간이 소요되는 것으로 확인되었는데, 그 이유는 제품 모델과 설비 모델은 각기 다른 부서에서 서로 다른 설계 프로그램으로 제작되기 때문에, 이를 수집, 변환 하여 단일 가상 환경에 구축하는 것이 매우 힘들기 때문이었다. 또한 설계 모델에 기구학적(Kinematic) 요소와 동작(Motion) 정보를 입력하여, 실제 설비와 같은 물리적 행위를 표현하는 가상 모델을 작성하는 과정에도 많은 공수가 들어간다. 과거의 3차원 모델 기반 시뮬레이션이 축약된 형태의 형상, 행위 정보를 사용하여 수행 반면, 지금의 제어 시뮬레이션에 사용되는 물리 모델은 실제 설비와 같은 역할을 해야 하기 때문에, 본 과정이 매우 중요하다 말할 수 있다.

2.2 논리모델 구축(Logical Model Construction)

PLC 프로그램과 연동하여 입출력 신호를 주고 받으며, 가상 환경의 물리적 모델을 제어하는 논리적 모델은 공법 정보와 PLC 프로그램의 I/O(Input/Output) 정보를 분석하여 사용자가 직접 모델링 한다. 본 연구에서 말하는 논리 모델은 박창복 외 4인이 제안한 I/O 모델을 말하는데¹¹⁾, 이는 제어프로그램에 포함된 순차(Sequence) 정보, 이벤트(Event) 정보, 그리고 상태(State) 정보를 다음 FSA(Finite State Automata) 9개 요소로 표현한 상태 기반 객체 모델을 말한다^{12,13)}.

$$M = \{I, O, S, q_0, \delta_{ext}, \delta_{int}, \lambda_{ent}, \lambda_{leave}, \lambda_{disable}\}$$

I : 입력 집합

O : 출력 집합

S : 상태 집합

q_0 : 초기 상태

δ_{ext} : 외부 변환 함수

δ_{int} : 내부 변환 함수

λ_{ent} : 진입 출력 함수

λ_{leave} : 이탈 출력 함수

$\lambda_{disable}$: 억제 출력 함수

하지만, 논리 모델을 작성하기 위해서는 제어 대상

공정진행에 대한 이해 및 제어코드 분석, 그리고 상태 모델 작성 과정이 필요한데, 이 과정에 많은 시간과 노력이 필요하다. 특히, 자동차 공정을 구성하는 설비의 논리적 행위 정보는 유한개의 모델로 한정되는 반면, 검증 시뮬레이션이 수행될 때 마다 논리 모델을 반복적으로 재 작성하는 부분이 낭비적 요소로 지적되어 왔다.

2.3 합성 모델 작성(Synthetic Model Construction)

합성 모델은 논리 모델과 물리모델을 연결한 모델로써, 실제 PLC 프로그램과 연결되는 모델을 말하며, Fig. 5는 합성모델의 정의를 표현한 개념도이다. 모델간 연결은 크게 두 가지 정보로 나뉘는데, 첫째, 물리모델의 가상 센서정보를 논리모델의 입력 신호와 연결하는 것, 둘째, 논리모델에서 만들어진 출력 신호를 물리모델의 동작 정보와 연결하는 것으로 나뉜다. 이러한 연결이 완료되면, PLC 프로그램이 실행됨에 따라 입, 출력 신호가 논리 모델과 물리모델에 반영되어 제어 프로그램 검증 시뮬레이션이 수행될 수 있다.

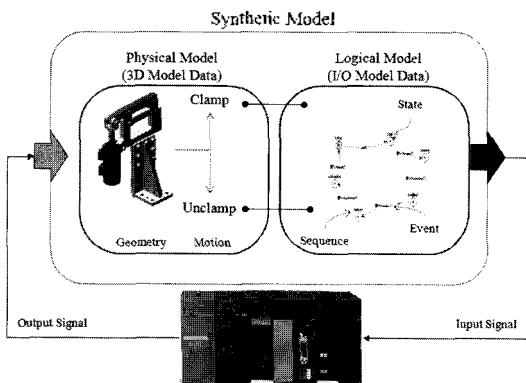


Fig. 5. A definition of synthetic model in the PLC simulation.

본 연구에서는 이 같은 물리적, 논리적 모델, 그리고 합성 모델 구축에 소요되는 시간 및 노력을 줄일 수 있는 방법으로 “제어프로그램 검증 시뮬레이션을 위한 템플릿에 기반의 모델링 방법론” 제안하고자 한다. 본 연구의 적용 대상이 되는 자동차 조립 공정은 차체의 종류에 따라 BB, SIDE, FLOOR, ROOF 등의 공정으로 나뉘는데, 투입되는 설비 및 제어 정보가 공정 단위 별로 관리되기 때문에, 물리적, 논리적 모델의 라이브러리를 구축하는 것이 타당하다 말할 수 있다. 또한 제어프로그램이 FB(Function Block)

형식으로 모듈화 되어 있고, 3D 모델의 설계 정보가 PLM에서 관리되기 때문에, 합성모델의 템플릿을 구축하고 사용하는 것이 가능하다. 특히, 본 연구에서 제안하는 라이브러리 및 템플릿 정보는 과거 공정에서 사용한 데이터를 기반으로 구축되기 때문에, 현장에 적용하는데 매우 효과적이라는 장점을 갖고 있다.

Fig. 6은 제안하는 방법론을 바탕으로 PLC 제어 시뮬레이션을 진행하기 위한 세 단계 절차를 나타낸다.

Step.1) 물리 모델, 논리 모델 라이브러리 구축

가장 먼저, 물리 모델과 논리 모델 라이브러리 구축이 필요한데, 이는 제어 검증 시뮬레이션이 완료된 기존 데이터를 기반으로 이뤄진다. 여기서의 라이브러리는 물리적, 논리적 모델을 공정 별로 구조화하여 정리한 저장소(Repository) 개념이다.

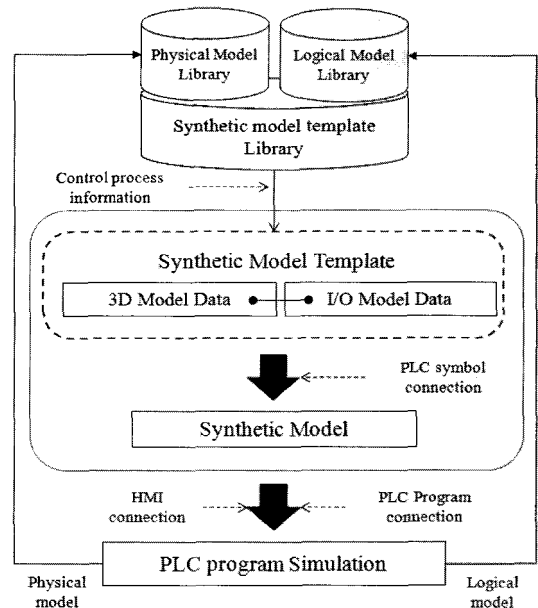


Fig. 6. A process of PLC simulation based on the proposed methodology.

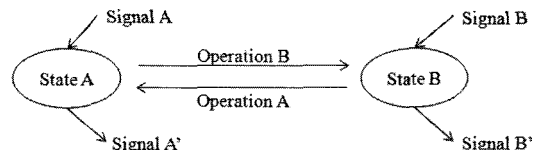


Fig. 7. A simple logical model based on FSA.

물리 모델 라이브러리는 공정을 구성하는 3차원 설비 모델이 체계적으로 저장되어 있는 저장소로써, 형

상 및 동작 정보를 포함한 물리 모델이 저장되어 있다. 자동차 조립 공정은 각기 다른 역할을 갖지만, 반복되는 공정 정보가 존재하며, 투입되는 설비 및 로봇의 종류가 한정되어 있다. 따라서 각 공정이 갖는 물리 모델을 체계적으로 분류하여 라이브러리를 구축한다면, 1) 기존 모델의 행위 정보를 이용하여, 공정 정보를 쉽게 파악할 수 있기 때문에 공법 분석에 투입되는 노력을 줄일 수 있고, 2) 기존 모델을 재사용하여, 가상 작업상을 구축하기 때문에 시뮬레이션 공수를 획기적으로 줄일 수 있다.

논리 모델 라이브러리는 제어 시뮬레이션에서 사용되는 논리 모델을 체계적으로 관리하기 위한 저장소를 말한다. Fig. 7은 두 개의 상태를 갖는 FSA 기반 논리모델의 한 예를 나타내는데, 상태(State A, State B), 이벤트(Operation A, Operation B), 입력신호 값(Signal A, Signal B), 출력신호 값(Signal A', Signal B')로 표현된다. 이는 제어 프로그램의 신호 입력을 바탕으로 상태를 전이(Transition)하며, 전이된 결과를 물리 모델과 제어프로그램의 출력신호로 전달한다. 특정 설비 또는 로봇은 가질 수 있는 상태의 범주가 한정적이며, 동작 수행을 위해 필요한 입력 신호와, 결과로 발생된 출력 신호가 분류 가능한 정보이기 때문에, 이를 라이브러리로 구축하고 관리하는 것이 가능하다.

Step.2) 합성모델 템플릿 작성

물리모델과 논리모델이 구축되면, Fig. 5에 제시된 합성모델 템플릿을 쉽게 만들 수 있다. 이는 앞에서 언급했듯이, 물리모델의 동작 정보와 논리모델의 전이 이벤트를 연결함으로써 만들어진다. 따라서 사용자는 제어 공정 정보(Control Process Information)를 공법서로부터 파악하여, 해당 공정을 구성하는 각 설비의 합성 모델을 라이브러리로부터 추출할 수 있다. 다음은 만들어진 합성모델 템플릿에 실제 PLC 코드에서 사용하는 심볼 값을 mapping하는 단계이다. PLC 프로그램은 공정 및 제어대상에 따라 PLC 제조업체가 다르기 때문에, 심볼 값의 종류도 상이하다. 따라서 템플릿 모델 이후 단계에서 실제 제어 대상이 되는 심볼 값을 연결하는 것이 필요하다.

Step.3) 제어 시뮬레이션 환경 구축

본 단계는 제어 시뮬레이션에 필요한 HMI(Human Machine Interface) 및 PLC 프로그램을 합성모델에 연결하고, 시뮬레이션을 수행하는 것이다. 기존의 라이브러리로부터 도출된 모델 이외에 새로 작성된 모

델이 시뮬레이션에 사용된다면, 결과 데이터를 다시 라이브러리에 저장한다. 이를 통해 과거 시뮬레이션 데이터가 모듈화되어 관리될 수 있다.

이상의 세 단계를 거쳐 제어검증을 위한 모델 작성 및 시뮬레이션이 수행될 수 있는데, 본 연구에서 제안한 방법을 이용해 기존의 프로세스에서 낭비적 요소로 지적된 물리 모델의 조작 시간 및 논리 모델 작성을 위한 공법 파악, 그리고 논리모델 작성에 소요되는 공수를 줄일 수 있다. 본 방법론은 실제 검증 시뮬레이션 수행을 통해 얻어진 자동차 공정 정보의 특성 및 물리, 논리 모델들의 특성을 고려하여 만들어진 것이기 때문에 쉽게 현업 프로세스에 적용할 수 있다. 제3장에서는 자동차 조립 라인 중 특정 공정을 선정하여 실제 본 방법론을 적용한 결과를 기술할 것이다.

3. 템플릿 기반 라이브러리의 구축을 위한 방법 및 절차

본 장에서는 2장에서 언급했듯이, 자동차 조립공정 중 하나의 공정을 선정하고, 물리모델과 논리모델을 구축을 실제로 적용하는 방법을 말할 것이다.

자동차 조립공정은 프레스 가공을 통하여 만들어진 자동차 각 부분의 패널들을 조립하고 용접하여 차의 모양을 만들어내는 곳으로 SIDE, FRONT FLOOR, BB/BR 등 여러 라인으로 구성되어 있는데, 본 논문에서는 BB/BR 라인을 대상으로 방법론을 적용한다.

BB/BR 라인은 메인 바디의 형체가 완성되는 곳으로, 높은 정밀도를 필요로 하는 공정이며, 차종에 따른 전용설비를 사용해야 한다. 따라서 모델 변경에 따라 설비의 변경 또한 자주 일어나며, 이에 대한 빠른 대응이 필요하다. 그러나 이 라인은 많은 수의 공정을 가지는데 반해, 설비에 따른 구성을 분석하여 구분했을 경우, 같은 구성을 가진 공정들이 반복되기 때문에, 제안한 방법론을 적용하기에 효과적이다.

3.1 분석 및 범위 선정

대상 공정으로 선택된 BB/BR 라인은 차체의 바디 형태를 완성하는 메인 바디 공정으로, SIDE 공정, FRONT 공정 등에서 만들어진 각각의 패널들이 합쳐지는 작업이 이루어진다. Fig. 8은 BB/BR 라인에서의 공정 진행에 따른 차체 흐름과 최종 산출물을 나타낸다. 그림과 같이 BB/BR 공정은 공정흐름에 따라 FLOOR 패널의 양 옆면에 SIDE 패널이, 상부에는 ROOF 패널이 붙여진다.

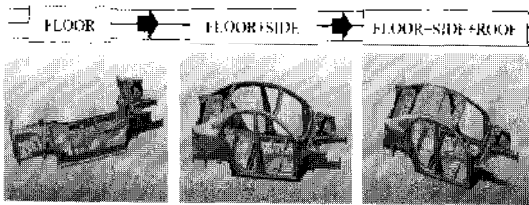


Fig. 8. Product Flow of BB/BR Line.

따라서, 이 공정에서는 주로 패널들의 이송과 용접 작업이 주를 이루며, 작업의 기능에 따라 크게 1) FLOOR로 패널을 이송시켜 주는 작업 2) 패널들을 FLOOR에 붙이기 위한 용접 작업 3) 용접된 패널들을 완전히 고정하는 채 용접 작업과 같이 세 가지로 구분할 수 있다.

BB/BR 라인의 또 다른 특징은 셔블(Shuttle)이 다른 작업공정으로의 진행을 위해 FLOOR를 이동시킨다는 것이다. 앞서 말한 SIDE, ROOF 패널등의 같은 주요패널들은 핸들링 로봇에 의해 FLOOR로 이송이 되지만, 차체의 기초가 되는 FLOOR의 경우 대차에 올려진 채로 공장의 시작부터 끝까지 셔블에 의해 이송된다. 따라서 Table 1은 BB/BR 라인의 이 같은 특징과 작업의 기능에 따른 분류를 고려하여 구분한 것을 나타낸다.

Table 1. Functional Classification of BB/BR Line

Work	Move	Spot	Re-Spot
Facility	Robot (Handling)	Robot (Welding)	Robot (Welding)
Common	Shuttle, Position Clamp, Hook Pin		

BB/BR 라인에서 이루어지는 주요작업과 설비들은 위의 테이블과 같이 분류되며 Robot, Shuttle, Clamp, Pin으로 이루어지는 공정은 이 라인에서 약 70%를 차지하고 있다. 따라서, 앞서 언급한 5개의 설비를 대상으로 논리모델과 물리모델의 라이브러리 구축 및 합성모델을 작성한다.

3.2 물리모델 라이브러리(Physical Model Library)

효율적인 라이브러리의 관리를 위해서는 구축되는 라이브러리의 정보를 쉽게 사용할 수 있어야 한다. 따라서 본 논문에서는 위에서 선정한 4종류의 설비를 사용하는데 있어, 직관적인 이해가 가능하도록 설비들을 기능에 따라 세 분류하였다. Fig. 9는 기능에 의해 구분된 라이브러리의 구조에 대한 정의를 나타내며, 크게 이동성을 가지는 Mover, 고정되어 있는 Fixture,

그리고 Robot으로 구분된다.

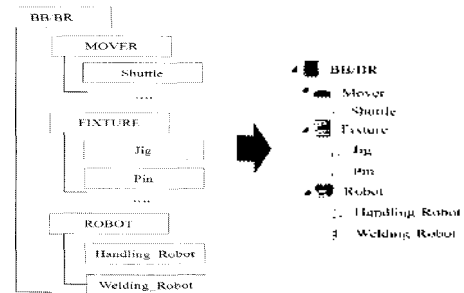


Fig. 9. Physical model Library Structure.

그림과 같이 구축된 라이브러리는 BB/BR 라인의 용접 작업, 채 용접 작업 등을 구성할 때, 직관적으로 설비에 대한 정보를 가져다 쓸 수 있으며, 라이브러리의 3차원 설비 모델은 행위 정보를 포함하고 있기 때문에 이를 사용하여 설비들의 공정 정보를 쉽게 알 수 있다.

3.3 논리모델 라이브러리(Logical Model Library)

논리 모델 라이브러리 역시 물리모델과 마찬가지로 Fig. 9와 같이 기능에 따라 구분하여 구조를 정의하는 것을 기본으로 하며, Fig. 10과 같이 4단계의 절차에 의해 라이브러리가 완성된다.

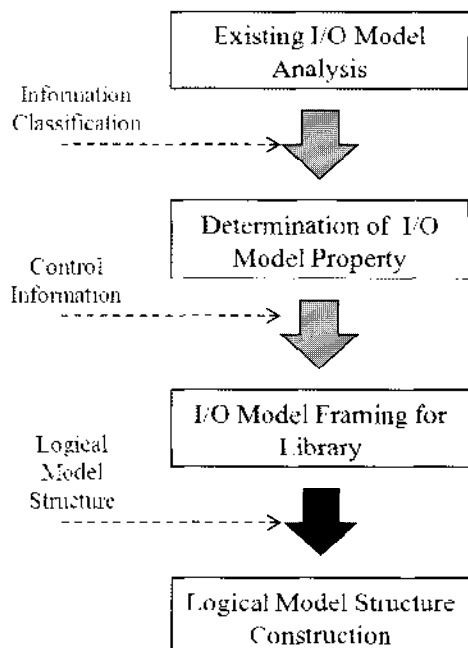


Fig. 10. Process of Logical model Library Structure.

Step. 1) BB/BR 라인의 I/O 모델 분석

가장 먼저, 대상 범위의 논리모델인 I/O 모델의 분석이 필요하다. 앞서 2장에서 언급한 것과 같이 I/O 모델은 상태(State)를 가지며, 각 설비가 가진 상태의 수를 확인하기 위하여 설비들에 할당된 업무(Task)의 정의와 이에 따른 상태변화를 구분해야 한다. Table 2와 3은 대상으로 선정된 설비와 들을 I/O 모델의 상태(State)에 따른 구분을 나타낸다.

Table 2. Equipment State Information of BB/BR Line

	Component	State A	State B
Mover	Shuttle	Return	Advance
Fixture	Clamp	Unclamp	Clamp
	Pin	Up	Down

Table 3. Robot State Information of BB/BR Line

Component		State A	State B	State C	State B
Handling Robot		Start	Ready	Load	Unload
Welding Robot	1st	Start	Ready	1st Work	-
	2nd	Start	Ready	1st Work	2nd Work

Step. 2) I/O 모델의 속성값 결정

Step. 1에서 표현해야 하는 상태의 수를 결정된 후, 물리모델의 제어를 위한 신호(Signal) 값인 속성 값을 결정하며 크게 두 가지로 구분하여 정의한다.

Table 2에서 표현된 설비는 모두 2개의 상태를 가지며, 이를 제어하기 위해서는 현재의 상태를 입력 신호 값으로 전달하여 출력 값인 이벤트(Operation)를 발생시키게 된다. 따라서 상태를 구분해주는 신호 값이 필요하며, 아래와 같이 2가지의 신호로 표현한다.

1) RET

: 설비의 초기 상태를 의미하는 신호 값

2) ADV

: 설비의 동작 및 작업이 완료된 상태를 의미하는 신호 값으로, Clamp가 잠긴 상태 또는 서틀이 대차를 이동시키기 위해 진전해 있는 상태를 예로 들 수 있다.

Table 3의 로봇은 위의 설비들과 달리 많은 상태의 수를 가지고, 그에 따른 작업동작도 많아지기 때문에 상대적으로 복잡한 속성값들을 가지며, 그 신호 속성 값은 다음과 같다.

1) HOME / RUNNIG

: 로봇의 초기 상태를 의미하는 신호 값.

2) RUNNIG

: 로봇의 작동 유무를 의미하는 신호 값으로, 현재 로봇이 작업 중인지 정지상태인지의 정보를 확인할 수 있는 신호 값이다.

3) NO_INIT

: 로봇의 작업과 관련된 신호로 충돌 및 간섭을 체크하는 신호 값이다. 로봇의 경우는 2개 이상의 작업을 하는 경우가 있기 때문에, 이 신호 값을 사용하여 현재 로봇이 몇 번째 작업을 진행 중인지에 대한 정보를 확인할 수 있다.

4) WORK COMP

: 로봇의 작업이 완료의 상태를 표현하는 신호 값으로 작업의 완료의 유부 정보를 확인할 수 있다.

Step. 3) I/O 모델 작성

Step. 1과 Step. 2의 작업을 통하여 I/O 모델을 작성하기 위한 정보들을 정의하였다. 앞서 정의한 정보들을 기본으로 하여 Step. 3에서는 2장에서 언급한 I/O 모델을 작성한다. Fig. 11은 Table 2의 설비들을 정의한 I/O 모델로, 2개의 상태를 가지며, 앞서 설명한 RET, ADV 신호 값을 입력 값으로 갖는다. 이 신호 값들은 PLC 및 PLC 프로그램과의 통신을 위하여 Boolean 방식과 같이 1(True), 0(False) 2가지의 값을 사용하여 표현한다.

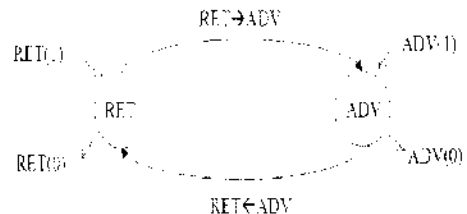


Fig. 11. I/O Model of Equipment with Two State.

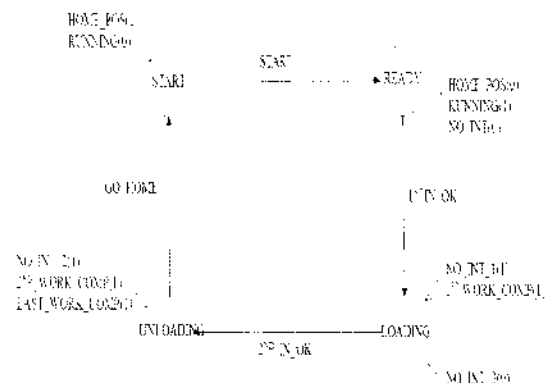


Fig. 12. I/O Model of Handling Robot.

BB/BR 라인에서 로봇은 Table 3에서와 같이 핸들링 로봇과 용접로봇으로 구분하며, Fig. 12와 13은 Step. 2에서 설명한 신호들을 사용하여 표현한 로봇의 I/O 모델을 구조를 나타낸다.

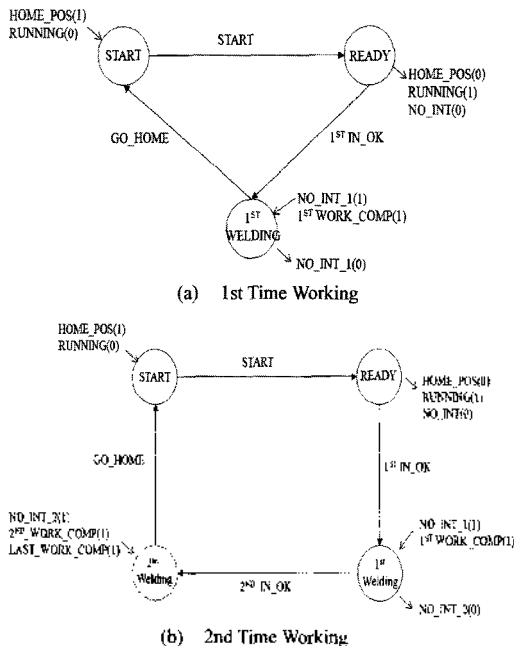


Fig. 13. I/O Model of Welding Robot.

Step. 4) 논리모델라이브러리 구축

정의된 설비들을 표현하는 I/O 모델이 완성된 후, 이를 토대로 논리모델 라이브러리를 구축한다. 논리모델라이브러리 역시 물리모델과 마찬가지로 Mover와 Fixture, Robot으로 구분하여 구조를 정의하고, 관리한다. 이 역시 새롭게 공정을 검증할 때에 직관적인 이해를 통해 빠르게 검증공정을 구성할 수 있다.

위의 4단계를 통하여 논리모델 라이브러리를 구축

하게 되며, 물리모델 라이브러리와 병렬로 작성 및 관리함으로써, 다음 단계에 진행되는 합성모델의 작성에 소요되는 시간을 단축할 수 있다.

3.4 합성모델의 작성 및 제어검증 시뮬레이션

구축된 물리모델과 논리모델의 라이브러리에서 정보를 토대로 합성 모델을 작성한다. 합성모델을 작성하기 위해서는 위 단계에서 구축한 두 개의 라이브러리에서 물리모델과 논리모델을 선택하여 연결하여야 한다. 예를 들어 물리모델 라이브러리에서 클램프를 선택하였다면, 이를 제어하는 정보를 가진 논리모델이 필요하다. Table 2에서 확인할 수 있듯이 클램프는 Clamp, Unclamp라는 두 가지의 상태를 가지게 되며, 이에 따라 Fig. 11과 같은 논리모델을 선택할 수 있다. 다음 단계로 선택된 두 모델의 연결하는 과정이 필요하며, 물리모델인 클램프가 가진 동적 정보를 논리모델의 이벤트(Operation) 연결시킨다. 여기서 이벤트란 2장의 Fig. 7에서 설명한 것과 같이 입력 신호를 바탕으로 상태가 전이하는 과정을 말한다. 이 과정을 통하여 작성된 합성 모델을 토대로 제어검증 시뮬레이션에서 사용할 수 있는 템플릿을 만든다.

완성된 합성모델을 실제 제어 검증시뮬레이션에 적용하기 위해 Fig. 14에 표현한 것과 같이 구축된 라이브러리를 통해 합성모델을 불러온다. 이 합성모델은 논리모델과 물리모델로 이루어져 있으며, PLC 프로그램과 제어정보를 주고받는 논리모델 즉, I/O 모델의 속성값인 신호 값과 PLC 프로그램의 심볼 값의 Mapping 작업을 진행한다. Mapping 작업은 스크립트 언어를 간단히 수정함으로써 이루어지며, PLC 코드와 심볼 값이 작성자, 사용하는 PLC에 따라 달라지기 때문에 PLC 프로그램을 사용하여 제어검증 시뮬레이션을 할 때에는, 이러한 Mapping 작업이 진행되어야 한다.

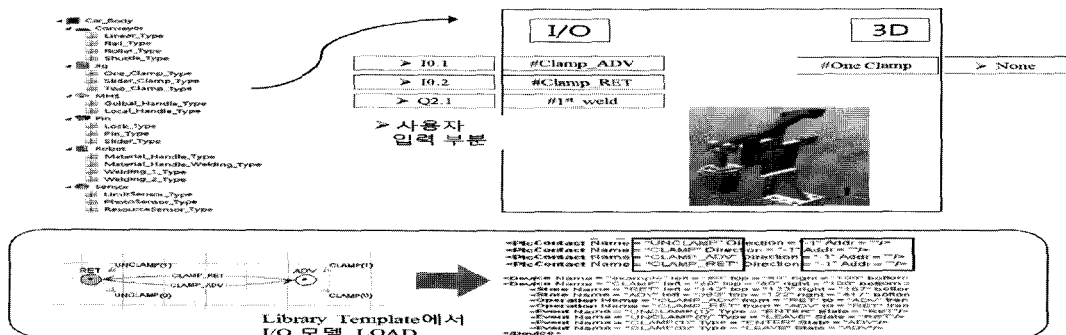


Fig. 14. Modification of Synthetic for Control Verification Simulation.

4. 구현 및 적용

제조기업들은 짧아지는 제품 수명에 따른 생산시스템의 변경이 잦아짐에 따라, 빠른 시간 내에 시스템을 안정화하는 것이 필요하다. 따라서 이러한 생산시스템의 검증에 대해 제어 검증 시뮬레이션은 생산시스템을 제어하는 로직들을 검증하는 시뮬레이션이 필요하다. 그러나 이러한 필요성에도 불구하고 시뮬레이션을 위해 수반되어야 하는 가상공장을 구축하는데 많은 시간과 노력이 요구되었다. 이런 문제점을 해결하고자, 본 연구에서 제안한 템플릿 기반 공정 모델링 방법론을 제안하였다. 자동차 산업은 생산시스템의 변경이 잦은 대표적인 제조산업이며, 생산시스템의 대부분이 자동화되어 있기 때문에 제어프로그램의 검증이 꼭 필요하다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방법론을 현업에 적용해 본 결과, Fig. 15에서 표현한 것과 같이, 가상 시운전 시뮬레이션을 위한 환경 구축 시간이 기존의 작업 시간에 비해 약 25% 정도 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 기존에 사용했던 데이터 정보들을 템플릿에 기반한 라이브러리로 구축하여 재사용함으로써, 모델링을 위한 데이터의 준비에 필요한 공수를 줄일 수 있었고, 또한 설비에 대한 동작 및 제어 정보를 라이브러리의 합성 모델을 통해 검증시뮬레이션을 위한 공법을 이해하기 위해 소요되는 공수 또한 줄일 수 있었기 때문에 얻어진 결과이다.

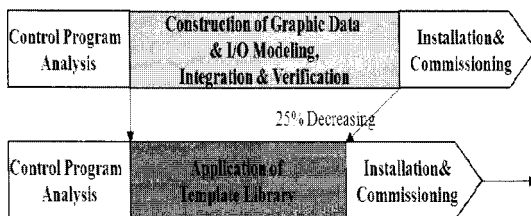


Fig. 15. Result with using Template Library.

5. 결 론

본 논문은 제어검증 시뮬레이션을 위한 템플릿 기반 공정 모델링을 제안하였다. 제어 검증 시뮬레이션은 제어 로직을 분석하고 발생 가능한 오류를 미리 발견할 수 있게 하며, 제품의 빠른 수명주기에 따른 잦은 시스템 변경에, 대처할 수 있는 효과적인 방법이다. 그러나 이러한 제어 검증 시뮬레이션을 진행하기 위해 필요한 가상공장모델의 구축에 많은 시간과 노력이 소요되었다.

이 같은 문제를 해결하고자, 본 논문에서는 검증이

완료된 기존의 물리, 논리데이터들을 재사용이 가능하도록 구조화하여 라이브러리를 구축하고, 이를 제어 검증 시뮬레이션에 사용하여 빠르게 제어검증시뮬레이션을 할 수 있도록 하는 템플릿 기반의 공정 모델링 방법론을 제안하였다. 본 방법론은 기능적으로 분류되어 템플릿화 되어 있으며, 검증이 완료된 신뢰성 있는 데이터를 토대로 구축되었기 때문에 제어검증을 위한 시뮬레이션 가상 환경을 구축 시 소요되는 공수를 획기적으로 절감할 수 있다. 사용한 알고리즘은 크게 세 가지로 나뉘어지는데, 첫째, 물리모델인 3차원 데이터와 논리모델인 I/O 모델에 대한 라이브러리를 기능에 따라 분류하여 구축하였다. 둘째, 구축된 라이브러리의 데이터를 사용하여 물리모델과 논리모델의 합성 모델을 작성하였다. 셋째, 합성 모델을 실제 PLC 프로그램과 연결하기 위한 Mapping 작업을 진행하였다. 이러한 알고리즘을 통하여, 제어검증을 위한 템플릿 기반의 라이브러리를 구축할 수 있었다.

특히, 본 연구에서는, 자중에 따른 전용 설비를 사용해야 하며, 복잡도가 높은 BB/BR 라인을 대상으로 적용하였기 때문에, 다른 공정 및 다른 제조 산업의 제어검증을 위해 본 방법론을 쉽게 적용할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국방부 방위사업청과 국방과학연구소(UD110006MD)와 (UD080042AD) 지원으로 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- Schuh, G., Rozenfeld, H., Assmus, D. and Zancul, E., "Process Oriented Framework to Support PLM Implementation, Computers in Industry," Vol. 59, No. 2-3, pp. 210-218, 2008.
- Freedman, S., "An Overview of Fully Integrated Digital Manufacturing Technology," *Winter Simulation Conference Proceedings*, Vol. 1, pp. 281-285, 1999.
- 박홍석, 최종원, "디지털 제조기술 기반의 차체 사이드 패널 조립시스템 구현," *한국정밀공학회지*, 제 23권, 제11호, pp. 68-77, 2006.
- 한성동, 신종재, 김유석, 윤태혁, 김진연, 노상도, "조선 형강 디지털 가상공장 구축 및 활용," *한국 CAD/CAM 학회 논문집*, 제 13권, 제1호, pp. 27-35, 2008.
- 이승찬, 송인호, 범진환, "로봇 Off-Line Programming을 위한 포인트 스프레이 시뮬레이션 방법론 개발," *한국CAD/CAM학회 논문집*, 제 13권, 제1호, pp.

- 296-304, 2008.
6. 노상도, 이창호, 한형상. "자동차 가상생산기술 적용(I)-생산준비 업무분석 및 적용 전략 수립," *IE Interface*, Vol. 14, No. 2, pp. 120-126, 2001.
 7. Park, S. C., Park, C. M. and Wang, G. N., "A PLC Programming Environment based on a Virtual Plant", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 39, pp. 1262-1270, 2008. 4.
 8. Park, C. M., Seong, G. Y., Park, S. C., Wang, G. N. and Han, K. H., "Simulation based Control Program Verification in Automobile Industry", *The International Conference on Modeling Identification and Control*, Innsbruck, Austria, 2008.
 9. 이창호, 왕지남, 박상철. "PLC시뮬레이션을 이용한 자동차 조립 라인 설계", *한국CAD/CAM학회 논문집*, Vol. 14, No. 5, pp. 323-329, 2009.
 10. 고민석, 홍상현, 왕지남, 박상철, "Logical모델을 활용한 자동차 차체 조립 라인의 시뮬레이션 적용을 위한 방안 연구 및 적용", *한국CAD/CAM학회 논문집*, 제14권, 제4호, pp. 225-234, 2009.
 11. 구락조, 박상철, 왕지남, "PLC 프로그램 생성을 위한 SOS-Net", *한국CAD/CAM학회 논문집*, 제14권, 제1호, pp. 60-68, 2009.
 12. Chang M. Park, Sachin M. Bajimaya, Sang C. Park and Gi N. Wang, "Development of Virtual Simulator for Visual Validation of PLC Program", *International Conference on Intelligent Agents Web Technologies & Internet Commerce*, Australia, 2006.
 13. Kim, T. G., DEVSIM++ User's Manual, Department of Electrical Engineering, KAIST, Korea, 1994.
 14. Park, H.-T., Kwak, J.-G., Wang, G.-N. and Park, S. C., "Plant Model Generation for PLC Simulation", *International Journal of Production Research*, Vol. 48, No. 5, pp. 1517-1529, 2009.



신 혜 선

2007년 아주대학교 산업정보시스템 공학부 학사
2010년~현재 아주대학교 산업공학과 석사과정
관심분야: FMS, Factory Automation, Simulation, Programmable Logic Controller (PLC), Simulation



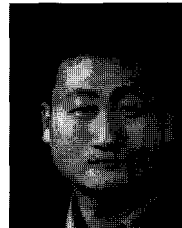
고 민 석

2007년 아주대학교 산업정보시스템 공학부 학사
2008년 아주대학교 산업공학과 대학원 석사
2009년~ 아주대학교 산업공학과 대학원 박사과정
관심분야: Programmable Logic Controller (PLC), Simulation, CAD/CAM, FMS, Factory Automation



홍 상 현

1995년 단국대학교 전기공학학사
2002년 울산대학교 산업공학과 대학원 석사
2007년~ 아주대학교 산업공학과 대학원 박사과정
현대 기아자동차 실버세어 기술팀 기아자동차 그룹장
관심분야: Programmable Logic Controller (PLC), Simulation, CAD/CAM, FMS, Factory Automation



박 상 철

1994년 한국과학기술원 산업공학과 학사
1996년 한국과학기술원 산업공학과 석사
2000년 한국과학기술원 산업공학과 박사
2004년~현재 아주대학교 산업정보시스템공학부 부교수
관심분야: Digital Manufacturing System, CAD/CAM, CAPP, Manufacturing System Modeling & Simulation



왕 지 남

1983년 아주대학교 산업공학과 학사
1985년 한국과학기술원 산업공학과 석사
1992년 미Texas A&M 산업공학과 박사
1993년~현재 아주대학교 산업정보시스템공학부 정교수
관심분야: Intelligent Information & Manufacturing System, System Integration & Automation