

## Logical 모델을 활용한 자동차 차체 조립 라인의 시뮬레이션 적용을 위한 방안 연구 및 적용

구락조\*, 박상철\*\*, 왕지남\*\*\*

### A Study and Application of Methodology for Applying Simulation to Car Body Assembly Line using Logical Model

Lock-Jo Koo\*, Snag-Chul Park\*\* and Gi-Nam Wang\*\*\*

#### ABSTRACT

The objective of this paper is to examine a construction method and verify PLC logic using the logical modeling and simulation of a virtual plant has complex manufacturing system and the domain of application is car body assembly line of automotive industrial operated by PLC Program. The proposed virtual plant model for the analysis of the construction method consists of three types of components which are virtual device, intermediary transfer and controller is modeled by logical model but in the case of the verification of PLC program, HMI and PLC logic in the field substitute for the controller. The implementation of the proposed virtual plant model is conducted PLC Studio which is an object-oriented modeling language based on logical model. As a result, proposed methods enable 3D graphics is designed in the analysis step to use for verification of PLC program without special efforts.

**Key words :** Verification of PLC, DEVS, Simulation, DMS

#### 1. 서 론

현대 사회에서 기업의 성공 요건은 급변하는 소비자의 요구를 빠른 시간에 맞춰주는 데 있다<sup>[1]</sup>. 이는 짧아진 제품 생명 주기(Product Life-cycle)에 대응 가능한 생산 시스템을 구축하는 문제로 귀결되며, 새로운 제품 양산 시스템 구축 시, 발생하는 Down Time과 Ramp up Time을 효과적으로 감소시킴으로써 해결 가능하다<sup>[2]</sup>. 이를 위해 가장 많은 시간과 비용을 필요로 하는 생산 시스템 구축 초기 단계에서 검증과 분석 모델 수립을 통하여 공법 및 생산 라인을 설계함으로써, 시운전 및 현장 보정 기간을 단축할 수 있다<sup>[1,2]</sup>. 하지만 생산 시스템은 시장의 요구를 지속적으로 충족 가능한 자동화 생산 시스템을 분석하고 설

계해야 함으로, 그 다양성과 복잡성으로 인해 분석 모델 수립이 어렵다.

시뮬레이션은 분석을 통해 모델 수립이 어려운 시스템을 쉽게 이해할 수 있는 가장 적합한 도구이다<sup>[3,4]</sup>. 이로 인하여, 최근 생산 시스템의 구축을 위하여 시뮬레이션을 활용한 DMS(Digital Manufacturing System)가 제시되고 있으며, 소프트웨어들도 개발되어 상품화되었다. 하지만 상용 소프트웨어들은 현장의 데이터를 충분히 활용하지 못하고, 제한적인 적용 범위로 인하여 널리 사용되지 않고 있다. 일부 소프트웨어들은 그 적용 범위가 범용적이지만 추가 작업에 많은 시간과 노력을 필요로 한다.

자동차 차체 조립라인은 제어코드를 통한 자동화된 생산 시스템이다. 제어코드는 순차제어방식의 PLC(Programmable Logic Controller)로써, LD(Ladder Diagram)를 통해 대부분 작성된다<sup>[2,5]</sup>. PLC로 구동되는 자동차 차체 조립라인의 생산 시스템 구축 및 기존 시스템 변경 시에는, 일반적으로 분석, 설계, 설치, 조정, 시운전 단계를 수행하여야 한다. 우선 Fig. 1과 같이 분석 단계에서는 ARENA<sup>®</sup>와 Auto-Mod<sup>®</sup> 같은 다

\*학생회원, 아주대학교 산업공학과

\*\*정회원, 아주대학교 산업정보시스템공학과

\*\*\*비회원, 아주대학교 산업정보시스템공학과

- 논문투고일: 2009. 03. 03

- 논문수정일: 2009. 04. 15

- 심사완료일: 2009. 04. 20

양한 시뮬레이션을 통하여 제품과 생산라인의 특성을 정의한다. 이를 기반으로 생산 라인의 공법이 정해지면, 생산 설비들을 CAD/CAM/CAE의 상용화된 소프트웨어인 Unigraphics와 CATIA 등을 이용하여 모델링을 수행한다. 이를 통해 생산 설비의 특성과 생산라인과의 관계를 규명한다. 이후, 공정을 운영할 수 있는 PLC 프로그램과 각각의 제어 유닛(control Unit)을 설계하고 작성하며 소프트웨어적인 측면에서 공정을 운영할 체계를 구축한다. 그리고 전가적, 기계적 장비들의 구축, 현장과의 보정, 시운전 단계가 차례대로 이어지며, 시운전 단계에서는 PLC 프로그램의 검증과 함께 최종적인 생산 시스템 점검으로 인하여 많은 시간이 소요된다.

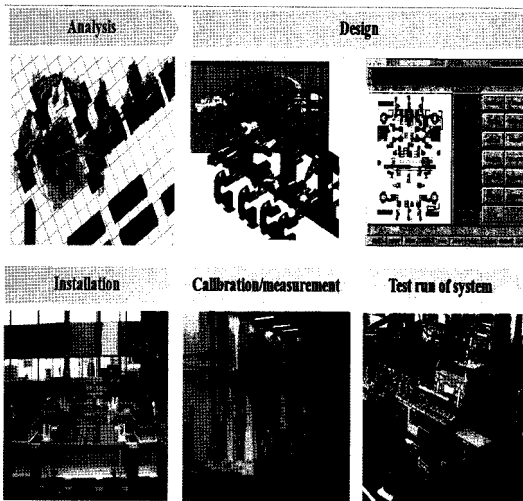


Fig. 1. 생산 시스템 구축 순서.

자동차 차체 조립라인의 구축과 안정화 시간을 단축하고 기존의 DMS 소프트웨어들의 적용범위 제한을 해결하기 위해서는 공법 분석 단계에서 구축된 가상 공장(Virtual Plant)이 시운전 단계를 대체 가능하여야 한다. 이는 가상 공장이 PLC 프로그램과 통신되어야 함과 동시에, 실제 생산 설비를 대신하고 공법 분석의 역할까지 수행되어야 가능함을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 PLC로 운용되는 생산 시스템의 DMS를 위한 가상 공장의 Framework을 제안한다. 이를 위해 2장에서 가상 공장 구축을 위한 참조 모델과 가상 공장의 Framework을 제안하고, 3장에서는 가상 공장을 logical model을 통하여 구현한다. 그리고 4장에서는 본 연구에서 제안한 가상공장을 자동차 차체조립라인을 대상으로 적용하여 타당성을 검증하고 5장과 6장을 통해 제안 방법의 결과, 향후 연

구방향을 기술한다.

## 2. 가상 공장의 Framework 제안

### 2.1 참조 모델

생산 시스템 구축 시, 공법 분석과 시운전 단계에서 PLC 프로그램 검증을 위해서는 실제 생산 장비와 가상 장비의 동기화, 실제 생산 시스템 환경과 유사한 통신 환경을 구축한 가상 공장이 요구된다. 이를 위해서는 참조 모델이 필요하며 본 연구에서는 객체지향 모델링 패러다임에 기반한 Choi<sup>[6]</sup>의 3인의 3단계 모델링 Framework을 활용하였다. 이는 Fig. 2와 같이 Static Layout Model, Job Flow Model과 Supervisory Control Model로 구성된다.

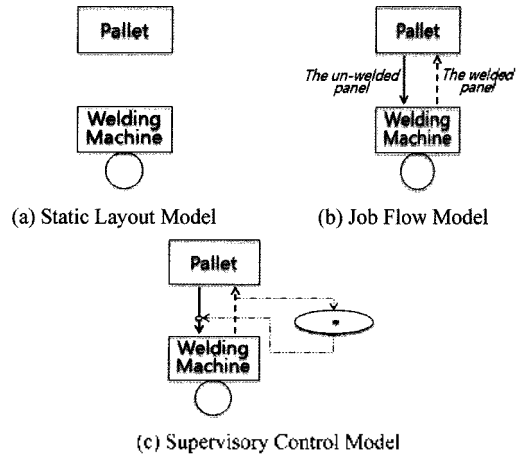


Fig. 2. 3단계 모델링 Framework.

Static Layout Model은 Fig. 2(a)와 같이 팔레트와 용접 기기의 심벌로 구성되어 있다. 이는 생산 시스템에 위치한 장비를 표현한다. 그리고 Fig. 2(b)의 Job Flow Model은 두 심벌 간의 작업의 흐름을 보여준다. 연결된 실선은 작업이 완료되지 않은 panel이 용접기기로 투입되는 것을 표현하며 점선은 용접이 완료된 panel이 팔레트로 적재되는 것을 의미한다. Supervisory Control Model은 공정에서 모든 가상 기기들의 상태를 기반으로 가능한 실행조건을 결정하는 제어 로직으로 설명 가능하다. 예를 들어 Fig. 2(c)를 살펴보면 토르니 팔레트에서 용접 기기로 투입 가능하다는 것을 의미하며 이는 작업이 끝나지 않은 panel이 이동 가능함을 나타낸다.

### 2.2 가상 공장의 Framework

본 연구에서는 Static Layout Model을 구현하기 위

해 가상 장비(Virtual Device)의 개념을 도입하였다. 이는 현장의 기기를 논리적, 물리적으로 모사하기 위한 것이며 Fig. 3과 같이 물리적 부분과 논리적 부분으로 나누어 표현된다. 우선 물리적 부분은 사전 정의된 3D 그래픽 부분이며 생산 설비에 대한 형상학적 정보와 동작 정보 등을 포함하고 있다. 그리고 논리적 부분은 장비의 운용관리와 상태 확인을 다룸으로써 물리적 부분의 동작의 완료, 동작 시작 신호 전달 등의 역할을 수행한다.

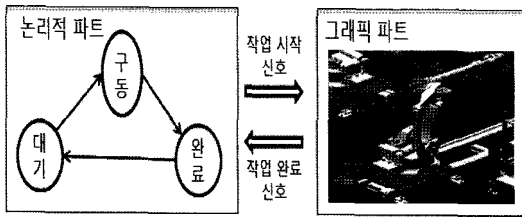


Fig. 3. 가상 장비의 구조.

Job Flow Model을 구현하기 위해서 Park<sup>[7]</sup>의 연구에서 제시된 transfer handler를 응용하여 Fig. 4와 같이 매개 전달 모델을 제안한다. 이는 공법 분석과 PLC와의 통신을 위해 Supervisory Control Model로부터 각 가상 장비를 실행 조건에 맞게 동작시켜야 하기 때문이다.

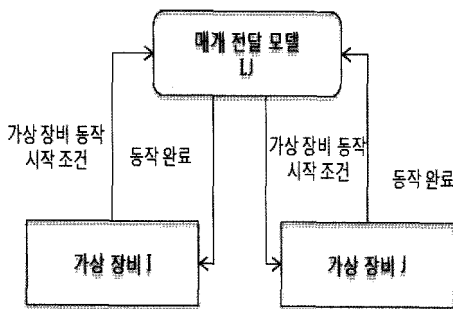
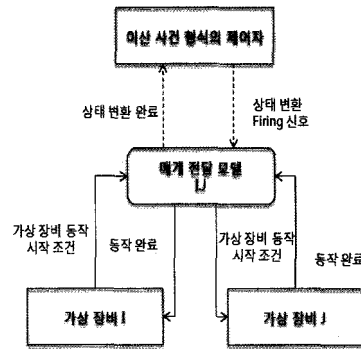
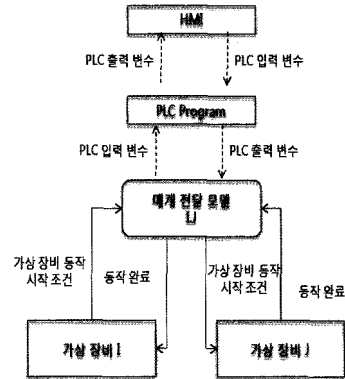


Fig. 4. 매개 전달 모델의 Framework.

Supervisory Control Model은 일반적으로 현재의 장비 및 공정 상태를 바탕으로 다음 동작을 표현하는 제조 시스템의 제어 로직을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 이산 사건 형식의 제어자와 PLC 리더(Ladder) 로직 및 HMI(Human Machine Interface)을 공법 분석과 시운전 단계에는 각각 적용하였다. 이는 제어자로 시뮬레이션의 시퀀스(Sequence)를 결정함으로써, 공법 분석을 수행하고 HMI로 시운전을 대체하여 PLC 프로그램을 검증하기 위함이다. 전체적인



(a) 공법 분석을 위한 Framework



(b) PLC 프로그램 검증을 위한 Framework

Fig. 5. 가상 공장의 Framework.

Framework은 Fig. 5와 같다.

### 3. 가상 공장의 구현

#### 3.1 Logical model

제시한 가상 공장 모델을 구현하기 위하여 본 연구는 아래와 같이 9개의 요소로 구성된 Park<sup>[8]</sup>의 logical model을 도입하였다. 이는 FSA(Finite State Automata)를 바탕으로 상태(State) 기반의 객체 모델을 사용함으로써, Zeigler<sup>[9]</sup>가 제시한 DEVS(Discrete Event Systems Specifications) 형식론의 원소 모델(Atomic model)에 적용 가능하여 모델링이 쉬고 시뮬레이션에 대한 체계적인 접근이 가능하기 때문이다.

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

- I : 입력 집합
- O : 출력 집합
- S : 상태 집합
- q<sub>0</sub> : 초기 상태
- δ<sub>ext</sub> : 외부 변환 함수

- $\delta_{int}$  : 내부 변환 함수
- $\lambda_{ent}$  : 진입 출력 함수
- $\lambda_{leave}$  : 이탈 출력 함수
- $\lambda_{disable}$  : 억제 출력 함수

Logical model에 의해 생성된 모델링 결과는 입력, 출력, 상태 집합으로 구분되며 상태의 변화는 기본적으로 PLC와 입·출력 신호를 주고 받음으로써  $\delta_{ext}$ ,  $\delta_{int}$ ,  $\lambda_{ent}$ ,  $\lambda_{leave}$ ,  $\lambda_{disable}$ 에 의해 결정된다.  $\delta_{ext}$ ,  $\delta_{int}$ ,  $\lambda_{ent}$ ,  $\lambda_{leave}$ ,  $\lambda_{disable}$ 에 대한 자세한 설명은 Table 1과 같은 본 연구에서는 logical model을 가상 장비 모델과 매개 전달 모델에 적용하여 DEVS 형식론의 원자 모델을 구성한다.

Table 1. Logical model의 tuple 설명

Tuple 예시	설명
$\delta_{ext}(A, I) = B$	현재 상태가 A이고 PLC로부터 I가 입력이 되면 $\Delta t$ 동안 B로 상태가 변한다.
$\delta_{int}(A, t) = C$	현재 상태가 A이면 $\Delta t$ 동안 C로 상태가 변한다.
$\lambda_{ent}(B) = O_1$	모델이 상태 B로 들어올 때, PLC로 $O_1$ 을 출력한다.
$\lambda_{leave}(B) = O_2$	모델이 상태 B에서 나갈 때, PLC로 $O_2$ 를 출력한다.
$\lambda_{disable}(B) = M_1$	모델이 상태 B로 들어올 때, 모델 $M_1$ 을 억제한다.

3.2 가상 장비 모델

논리적 부분과 그래픽 부분으로 구성된 가상 장비에 대해 본 연구에서는 logical model을 논리적 부분에 적용하였다. 앞서 2.2절에서 언급한 역할을 수행하기 위해서는 논리적 부분은 Fig. 6과 같이 매개 전달 모델로부터 현 조건에서 가용한 작업을 전달 받고 이에 해당하는 그래픽 부분의 모션을 호출한다. 그리고 그래픽의 모션이 완료되면 피드백(Feed-back)을 입력 받아 매개 전달 모델로 알린다. 이를 위해서 논리적 부분은 입력과 출력 포트(Port)를 두어 매개 전달 모델 및 그래픽 부분과 양방향 통신이 가능해야 한다. 논리적 부분에 logical model 적용한 결과는 아래와 같다.

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

$$I : \{\text{Command}_i, \text{Command}_j, \text{Motion Complete}_i, \text{Motion Complete}_j, \text{State Change}_i\}$$

$$O : \{\text{End motion}_i, \text{End motion}_j\}$$

$$S : \{\text{Idle}, \text{Motion Exe}_i, \text{Motion Exe}_j, \text{Motion Complete}\}$$

$$q_0 : \{\text{Idle}\}$$

$$\delta_{ext}(\text{Command}_i) = \text{Motion Exe}_i$$

$$\delta_{ext}(\text{Command}_j) = \text{Motion Exe}_j$$

$$\delta_{int}(\text{Motion Complete}_i \text{ or } \text{Motion Complete}_j \Delta t) = \text{Motion Complete}$$

$$\delta_{int}(\text{State Change}_i \Delta t) = \text{Idle}$$

$$\lambda_{leave}(\text{Motion Exe}_i) = \text{End motion}_i$$

$$\lambda_{leave}(\text{Motion Exe}_j) = \text{End motion}_j$$

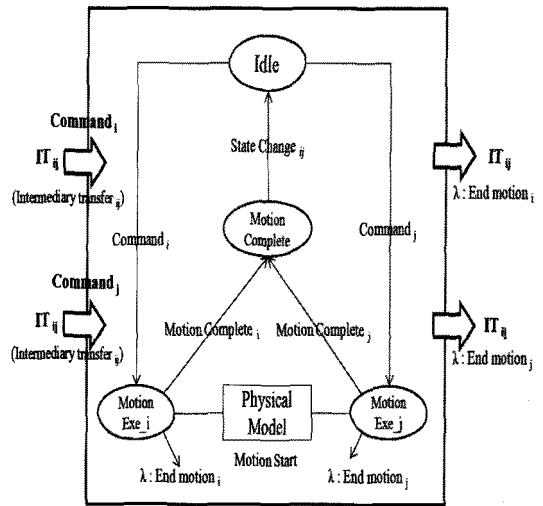


Fig. 6. 가상 장비 모델.

3.3 매개 전달 모델

매개 전달 모델은 Supervisory Control Model로 사용된 이산 사건 형식의 제어자와 PLC 프로그램을 목적에 맞게 가상 장비와 연결하고 조건에 맞는 입출력 정보를 전달하는 역할을 수행한다. 따라서 매개 전달 모델은 Fig. 7과 같이 실행 가능한 작업 신호를 Supervisory Control Model로부터 입력 받아 자신의 상태를 변화시키고 동시에 가상장비로 작업 명령을 내리고 상태 변환 시에 변화되는 디바이스들의 상태를 Supervisory Control Model로 출력한다. 이를 위해서는 가상 장비 모델과 같이 입력과 출력 포트를 가지며 각 모델과 양방향으로 통신을 한다. 이에 대한 logical model 결과는 다음과 같다.

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

$$I : \{\text{OutPut\_value}_i, \text{OutPut\_value}_j, \text{End motion}_i, \text{End motion}_j\}$$

$$O : \{\text{Command}_i, \text{Command}_j, \text{State}_i\_sensor, \text{State}_j\_sensor\}$$

- $S : \{Device\ State_i, Device\ State_j, Device\ operation_i, Device\ operation_j\}$
- $q_0 : \{Device\ State_j\}$
- $\delta_{ext}(OutPut\_value_i) = Device\ operation_i$
- $\delta_{ext}(OutPut\_value_j) = Device\ operation_j$
- $\delta_{ext}(End\ motion_i) = Device\ State_i$
- $\delta_{ext}(End\ motion_j) = Device\ State_j$
- $\lambda_{ext}(Device\ operation_i) = Command_i$
- $\lambda_{ext}(Device\ operation_j) = Command_j$
- $\lambda_{ext}(Device\ State_i) = State_i\ sensor$
- $\lambda_{ext}(Device\ State_j) = State_j\ sensor$
- $\lambda_{leave}(Device\ State_i) = State_j\ sensor$
- $\lambda_{leave}(Device\ State_j) = State_i\ sensor$

력 신호를 지원한다. 이는 Fig. 9와 같이 Ethernet을 통해 통신한다.

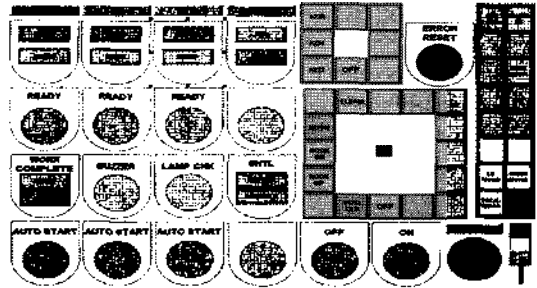


Fig. 8. HMI의 예.

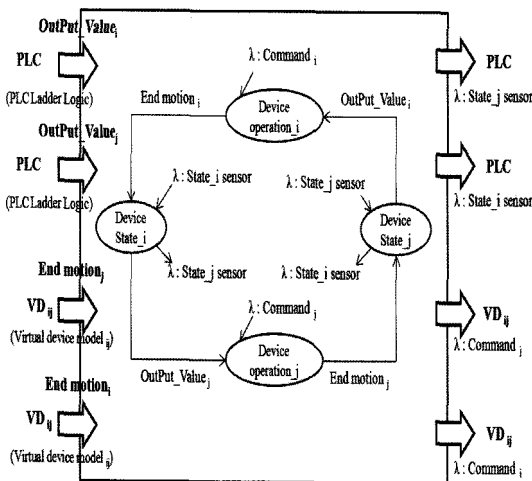


Fig. 7. 매개 전달 모델.

### 3.4 Supervisory Control Model

Supervisory Control Model은 본 연구의 목적에 따라 공법 분석과 PLC 프로그램 검증 시에 다르게 적용된다.

공법 분석 시에 적용되는 이산 사건 관리자는 Logical model로 구현되며, 실제 생산 공정의 작업 순서에 따라 PLC의 출력 신호와 입력 신호를 Logical model의 출력 함수와 변환 함수로 각각 모델링 한다. 이는 매개 전달 모델로 실행 가능한 작업을 출력해 주고 이에 대한 결과로써, 장비들의 상태에 대한 정보를 입력 받아 상태 진행을 하기 위함이다.

PLC 검증을 위한 Supervisory Control Model은 현장에서 사용중인 HMI와 PLC 프로그램을 사용하였다. 기본적으로 Fig. 8과 같은 HMI는 공정의 운전 형태(Operation Mode)와 수동 작업 시 각 장치들의 출

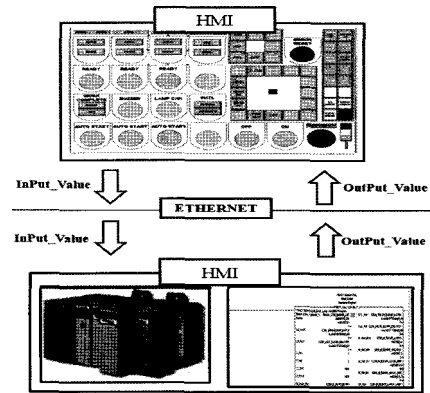


Fig. 9. HMI와 PLC 프로그램의 통신.

### 3.5 가상 공장

앞서 설명하였다시피, 가상공장을 구성하는 3개의 객체는 logical model로 구현되었다. 하지만 가상공장은 logical model을 통해 구현하기에는 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 가상공장을 설명하기 위해 DEVS 형식론의 연결 모델(Couple model)을 통해 적용하였다. 이는 logical model이 FSA를 기반으로 구성되어 DEVS의 원자 모델을 대체 가능하기 때문에 전체 시스템은 각 객체의 연결 방안을 설명 가능한 연결 모델을 이용한 것이다. 기본적으로 연결 모델은 다음과 같이 7개의 요소로 정의된다.

$$DN = \langle X, Y, M, EIC, EOC, IC, SELECT \rangle$$

X : 입력 사건 집합

Y : 출력 사건 집합

M : 구성 모델의 이름 집합

$EIC \subseteq DN.IN \times M.IN$  : 입력 연결 집합

$EOC \subseteq M.OUT \times DN.OUT$  : 출력 연결 집합

IC ≡ M.OUT × M.IN : 내부 연결 집합  
 Select: 2<sup>D</sup> → D: 동물 해결 함수

연결 모델의 요소에서 .IN과 .OUT은 입력, 출력 포트 집합을 의미한다. 본 연구에서는 전체적인 가상 공장에 대해 위 모델을 적용하여 각 객체를 대상으로 logical model을 통해 구현된 워자 모델 간의 관계를 Fig. 10과 같이 설명한다. Fig. 10은 하나의 장치와 매개 전달 모델로 구성된 시스템을 대상으로 표현되며, 연결 모델의 정의에 따라 다음과 같이 표현 가능하다.

Virtual FMS: DN  
 = <X, Y, M, EIC, EOC, IC, SELECT>  
 X = { }, Y = { }, M = {SC, IT, VD}  
 EIC = { }, EOC = { }  
 IC = {(SC.O1 × IT.I1), (IT.O1 × SC.I1)  
 (IT.O2 × SC.I2), (IT.O3 × VD.I2)  
 (IT.O4 × SC.I1), (VD.O1 × IT.I2)  
 (VD.O2 × IT.I3)}

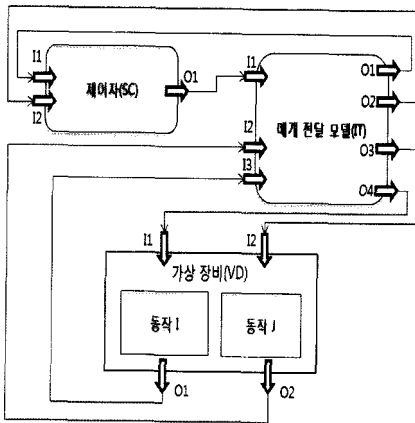


Fig. 10. 가상 공장 모델.

#### 4. 자동차 차체 조립 라인의 적용

본 연구에서 적용하고자 하는 공정은 Fig. 11과 같이 각 라인으로부터 각각의 파트를 넘겨받아 자동차의 전체 프레임을 완성하는 조립 공장이다. 용접 로봇 14대와 핸들링 로봇 2대로 이루어져 있으며 각 파트를 로딩하기 위한 대차는 셔틀써서 공정을 이동한다. 셔틀 운영은 EJECTOR, HOOK PIN, LOCK PIN, UPDOWN PIN과의 상호 연동으로 이루어지고 각 파트를 로딩하기 위해서는 S\_Gate 및 CRP가 관여한다. S\_Gate는 기본적으로 회전 운동과 직선 운동을 하며 이때 모터와 Lock 장치가 관여한다. CRP는 복

층에서 개별적인 장치로 운용된다.

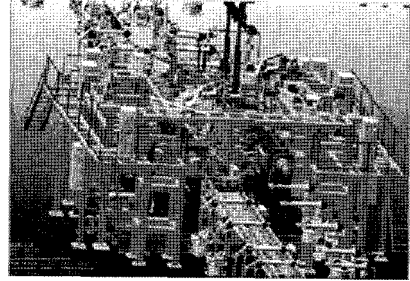


Fig. 11. 본 연구의 대상 공정.

앞서 제안한 방법은 아주대에서 개발한 PLC Studio를 활용해 적용하였다. PLC Studio는 logical model을 그래픽과 연동하여 시뮬레이션할 수 있는 환경을 제공해 주는 소프트웨어이다<sup>[10]</sup>. 이는 C++로 작성되어 있으며 시뮬레이션 엔진과 환경을 제공해주기 때문에 추가적인 작업 없이 본 연구에서 제안 방법을 실현가능하며 각 입력과 출력 변수는 PLC 프로그램의 변수 명을 그대로 사용하였다.

#### 4.1 공법 분석을 위한 가상 공장 객체 구현

공법 분석을 위한 시뮬레이션을 적용하기 위해 Fig. 12와 같은 순서로 진행하였다. 우선 공정에 대한 기본 정보와 공법 이해에 필수적인 Time Table과 도면 자료, 전기 도면, GA 도면, 입·출력에 관한 센서 및 Solenoid리스트, 설비 배치 자료로부터 입·출력에 필요한 정보를 정리하고 각 설비 디바이스의 역할 및 동작을 정의함으로써 매개 전달 모델을 Fig. 13과 같이 구현하였다. 그리고 Time Table을 활용하여 공정 순서를 정리하고 각 장비를 구동하기 위한 입력과 출력 정보를 파악하여 Fig. 14와 같이 제어자를 구성하였다. 마지막으로 가상 장비는 H사로부터 Solid Edge 파일을 받아 구현하였다.

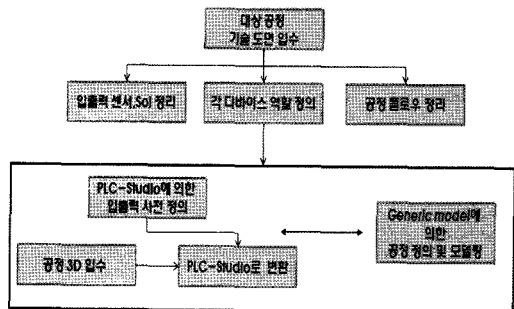


Fig. 12. 자동차 차체 조립라인의 적용 Flow.

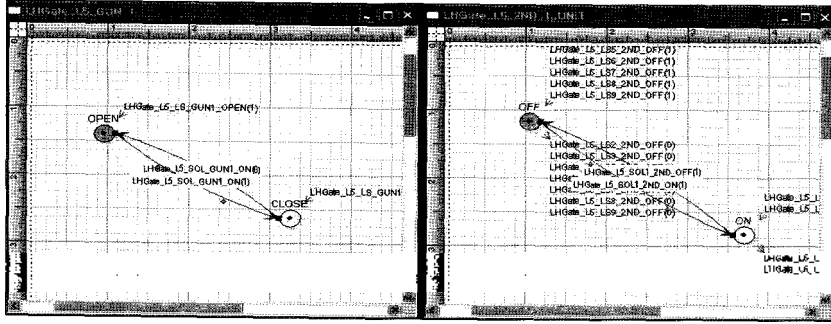
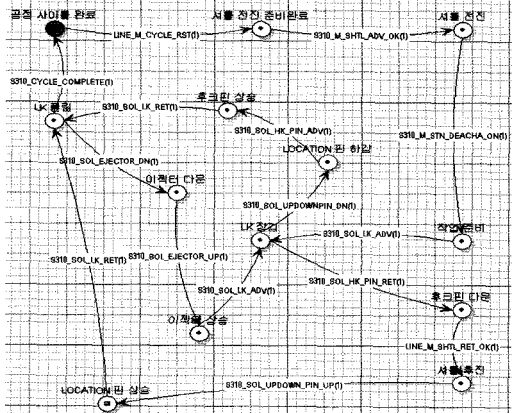


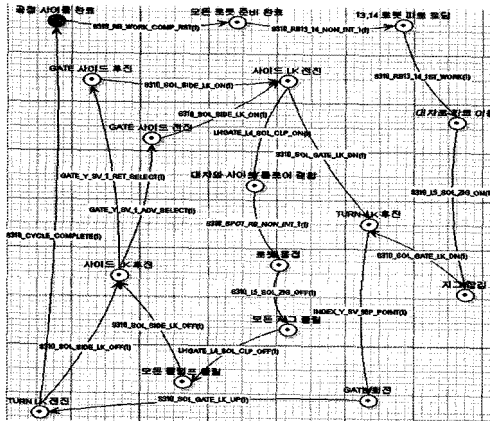
Fig. 13. 자동차 차체 조립라인의 매개 전달 모델.

구분	동작	시점								LS	SOL	비고
		1	2	3	4	5	6	7	8			
SHUTTLE	08	01	01	01	01	01	01	01	01	01		
	09	01	01	01	01	01	01	01	01	01		
DRUM ROLLER	08	01	01	01	01	01	01	01	01			
	09	01	01	01	01	01	01	01	01			
EJECTOR	08	01	01	01	01	01	01	01	01			
	09	01	01	01	01	01	01	01	01			
POSITION CLAMP	08	01	01	01	01	01	01	01	01			
	09	01	01	01	01	01	01	01	01			
DRUM PIN	08	01	01	01	01	01	01	01	01			
	09	01	01	01	01	01	01	01	01			

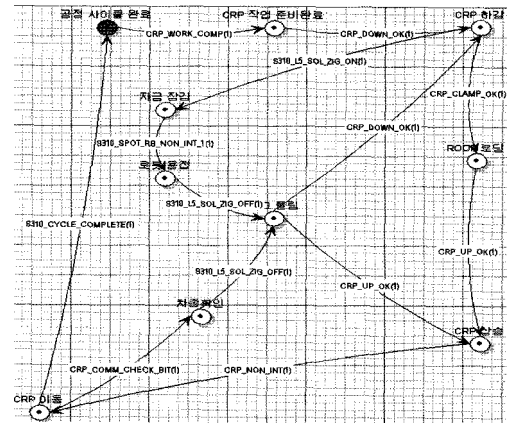
(a) Time Table



(b) 셔틀 라인 제어기



(c) S\_Gate 제어기



(d) CRP 라인 제어기

Fig. 14. 공법 분석을 위한 진행 Flow.

#### 4.2 PLC 로직 검증을 위한 가상 공장 객체 구현

PLC 로직 검증을 위한 가상 공장의 객체는 2.2장에서 언급하였듯이 공법 분석을 위해 구성된 가상 장비와 매개 전달 모델과 같다. 또한 Supervisory Control Model로써 현장에서 사용하는 HMI와 PLC 프로그램

을 사용함으로 본 연구에서는 추가적인 모델링없이 각각의 객체들의 통신을 Fig. 15와 같이 수행하였다.

본 연구에서는 AB PLC를 사용하였고, HMI는 Rockwell사(社)의 Factory Talk View 프로그램을 사용하여 Ethernet을 통해 두 프로그램간의 통신이 가능

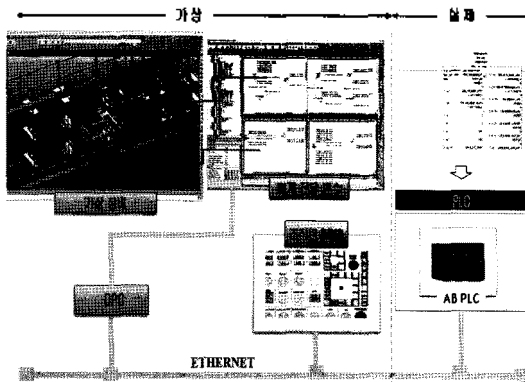


Fig. 15. PLC 로직 검증을 위한 통신환경.

하도록 하였다. 그리고 PLC Studio를 통해 가상 장비와 매개전달 모델을 구현함으로써 두 객체 사이의 통신을 해결하였다. 마지막으로 Supervisory Control Model과 두 객체 사이의 통신은 Invensys plc 사(社)의 Wonder-ware를 사용하여 구현하였다.

## 5. 결 과

본 연구에서 제시한 방법을 토대로 시뮬레이션을 활용하여 공법 분석과 PLC 프로그램을 검증할 수 있었다. 그 결과 공법 분석에서는 실제 생산 시스템이 구축되기 이전에 공장 운영을 시각적으로 확인해 봄으로써 제어 코드 작성 시 도움을 줄 수 있었다. 또한 PLC 프로그램 검증에서는 총 18개의 항목에서 에러가 발생하였고 시운전 이전에 수정함으로써 생산 라인의 구축 시간을 단축시킬 수 있었다. 수정 내용은 대부분 프로그램 로직의 입력과 출력의 부재, 입출력 태그의 미 매칭, 입출력 선후 관계의 잘못이었다. 이는 작화 파이프를 이용하여 수동 동작을 통해 검증하였으며 수동 검증에서 나온 결과를 개선한 이후, 시뮬레이션을 통한 자동 검증에서는 오류가 발생하지 않았다. 본 연구의 결과는 각 장비들의 선후 관계, 동작 상태, 입출력의 상태, 서플의 동작, 롤러의 동작, 로봇들의 움직임을 위주로 검증하였으며 일반적인 OLP(Off-Line Programming)에서 중요시 하는 로봇 Path나 장비간의 충돌에 대한 검증은 이루어지지 않았다.

단일 기기의 동작을 시험하는 수동검증 이후, 자동검증을 통해 각 설비들의 동작 순서를 나타내는 Time Table을 PLC Studio를 통하여 추출하고 이를 공정 장치들의 Time Table과 비교함으로써 검증을 완료 하였다.

## 6. 결론 및 토의

본 연구는 현재 PLC 프로그램 검증이 작성자의 경험과 지식에 의존하여 대부분의 에러가 시운전을 통하여 검출됨을 해결하기 위해 시뮬레이션을 활용하고자 하였다. 그리고 공법 분석에서 만들어진 그래픽을 Choi<sup>[6]</sup>의 3인의 연구와 Park<sup>[7]</sup>의 연구를 응용하여 가상 공장에 적용하고 전체 Framework을 제시하였다. 또한 가상 공장을 PLC 프로그램과 연결하고 실제 생산 시스템 환경과 유사하게 환경을 조성하기 위하여 Park<sup>[8]</sup>이 제안한 logical model을 매개 전달 함수와 가상 장비 그리고 공법 분석을 위한 제어자에 적용함으로써 시뮬레이션을 통한 공법 분석과 PLC 프로그램의 검증이 가능하게 되었다.

본 연구에서 제안한 방법을 바탕으로 자동차 차체 조립라인에 적용한 결과 18개의 에러를 검출하였고 이를 수정함으로써 전체적인 생산 시스템의 안정화 시간을 단축할 수 있게 되었다. 하지만 본 연구에서 제안한 방법은 자동차 차체 조립라인에 한정된 것이다. 이는 SIEMENS, DELMIA와 같은 시뮬레이션 프로그램에서 그 방법을 달리하나 시뮬레이션을 통한 프로그램 검증과 OLP 등을 지원하고 대상이 매우 폭 넓은 반면, 본 연구에서는 그 방법이 매우 간단하나, Logical 모델의 특성 상 적용범위가 매우 한정적이다. 따라서 향후 범용적인 방법과 가상장비의 모션을 추가적으로 제어할 수 있는 방안 연구가 진행되어야 한다.

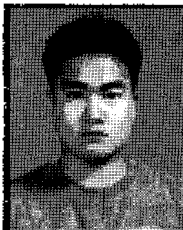
본 연구는 현재 자동차 차체조립라인의 서플과 롤러로 구동되는 라인의 PLC 프로그램뿐만이 아닌 PLC를 통해 운용되는 자동화 생산 라인에서 프로그램 검증과 공법 분석을 큰 추가 작업 없이 같이 수행함으로써, 생산 안정화 시간의 단축하고 기업 경쟁력 향상에 크게 이바지 할 것이라 사료된다.

## 참고문헌

1. Tempelmeier, H. and Kuhn, H., "Flexible Manufacturing Systems", John Wiley and Sons, 1993.
2. Zeo, M. and Twiss, E., "Design of Industrial Automated Systems Via Relay Ladder Logic Programming and Petri Nets", Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part C: Applications and Reviews, Vol. 28, No. 1, pp. 137-150, 1998.
3. Al-Ahmari, A. M. A. and Ridgway, K., "An Integrated Modeling Method to Support Manufacturing System Analysis and Design", Computers in Industry, Vol. 38, pp. 225-238, 1999.



4. Klingstam, P. and Gullander, P., "Overview of Simulation Tools for Computer-aided Production Engineering", *Computers in Industry*, Vol. 38, pp. 173-186, 1999.
5. Development of Next Generation Technology, "Digital Progress Simulator & OLP System for Automobile Part Industry", Ajou University Industry Academic Collaboration Foundation, 2007.
6. Choi, B. K., Han, K. H. and Park, T. Y., "Object-oriented Graphical Modeling of FMSs", *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems* Vol. 8, pp. 159-182, 1996.
7. Park, S. C., "A Methodology for Creating a Virtual Model for a Flexible Manufacturing System", *Computers in Industry*, Vol. 56, No. 7, 2005.
8. Park, C. M., Seong, K. Y., Park, S. C., Wang, G. N. and Han, K. H., "Simulation based Control Program Verification in an Automobile Industry", The International Conference on Modelling, Identification and Control, Innsbruck, Austria, 2008.
9. Zeigler, B. P., "Multifaceted Modeling and Discrete Event Simulation", Academic Press, Orland, 1984.
10. UDMT Co., <http://www.udmtek.com/frame/page/products/plcstudio1.php>



**구 락 조**

2006 아주대학교 산업정보시스템공학부 학사  
 2008 아주대학교 산업정보시스템공학부 석사  
 2008- 아주대학교 산업공학과 대학원 박사 과정  
 관심분야: FMS, Factory Automation, Simulation, Image Processing



**박 상 철**

Ph.D. (2000) in Industrial Engineering, Dept of I.E., KAIST, Korea  
 B.S. (1994) in Industrial Engineering, Dept of I.E., KAIST, Korea  
 M.S. (1996) in Industrial Engineering, Dept of I.E., KAIST, Korea  
 2000년 9월~2001년 12월 큐빅테크, 신입연구원  
 2002월 1년~2004년 2월 DaimlerChrysler ITM Dept. Research Engineer  
 2008년 2월~현재 아주대학교 산업정보시스템 공학부, 부교수  
 2005년 1월~현재 Computer-Aided Design and Applications  
 2006년 9월~현재 EJIT (Entruc Journal of Information Technology)  
 2007년 2월~2009년 1월 31일 한국 CAD/CAM 학회 편집위원  
 연구분야: CAD/CAM, 시뮬레이션, PLC, 이산사건 모델링



**왕 지 남**

1987년 3월~1992년 12월 미 Texas A&M 대학 산업공학과  
 1983년 3월~1985년 2월 한국과학기술원 산업공학과  
 1979년 3월~1983년 2월 아주대학교 공과대학 산업공학과  
 1984년 12월~1987년 8월 현대전자(주) 연구원(Dept. of Production Informaion Control Systems)  
 1992년 12월~1993년 5월 미 Texas A&M University 연구원  
 1993년 9월~1997년 8월 현재 아주대학교 산업정보시스템공학부 교수  
 2000년 9월~2001년 8월 University of Texas at Austin Visiting Professor  
 연구분야: 자동감시제어, 신경망, PLC, 시뮬레이션, 이산사건 모델링