한국시뮬레이션학회 논문지
Vol. 18, No. 3, pp. 1-11 (2009. 9)

자동차 패널 자동창고 시스템의 PLC 시뮬레이션 적용 연구

고민석[1] · 구락조[1†] · 곽종근[1] · 홍상현[2] · 왕지남[3] · 박상철[4]

A Study of PLC Simulation for Automobile Panel AS/RS

Minsuk Ko · Lockjo Koo · Jonggeun Kwak · Sanghyun Hong · Ginam Wang · Sangchul Park

ABSTRACT

This paper illustrates a case study of PLC logic simulation in a car manufacturing system. It was developed to simulate and verify PLC control program for automobile panel AS/RS. Because car models become varied, the complexity of supply problem is increasing in the car manufacturing system. To cope with this problem, companies use the AS (automated storage) and RS (retrieval system) but it has logical complexity. Industrial automated process uses PLC code to control the AS/RS, however control information and control codes (PLC code) are difficult to understand. This paper suggests a PLC simulation environment, using 3D models and PLC code with realistic data. Data used in this simulation is based on realistic 3D model and I/O model, using actual size and PLC signals, respectively. The environment is similar to a real factory; users can verify and test the PLC code using this simulation before the implementation of AS/RS. Proposed simulation environment can be used for test run of AS/RS to reduce implementation time and cost.

Key words : AS/RS, Programmable logic controller(PLC), Simulation, Plant model, DEVS, Virtual factory

요 약

본 논문에서는 자동차 패널 자동창고 시스템의 PLC 시뮬레이션 적용 연구 사항에 관해 소개한다. 자동차 차종의 증가에 따라 차종 별 패널 공급의 복잡도가 향상되었다. 이를 해결하기 위해 AS/RS 시스템을 사용하지만, 내부 시스템 로직의 복잡성으로 인해 사전에 검증하는 것이 매우 어렵다. 특히 AS/RS시스템 제어의 중추적 역할을 하는 PLC는 하위 레벨의 언어로 기술되기 때문에, 사용자가 정확히 이해하고 검증을 수행하기 힘든 것이 현실이다. 본 논문에서는 이 같은 논리적 복잡성과 언어적 한계를 극복하고자 PLC 와 3D 모델을 연동하는 시뮬레이션 환경을 제안하였다. 특히 차체 조립라인의 설비 및 패널 데이터를 실측치를 기반으로 하였고, 실제 PLC 신호를 이용하여 환경을 구축함으로써 시스템 구축 이전에 시운전 환경을 완벽히 구현하였다. 사용자는 제안된 시뮬레이션 환경에서 AS/RS 로직을 시운전 할 수 있게 되었고, 이를 통해 경제적, 시간적 이득을 얻게 되는 장점을 갖는다.

주요어 : 자동창고 시스템, Programmable logic controller(PLC), 시뮬레이션, 공장 모델, 이산사건, 가상 공장

---

* 본 연구의 일부는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.(UD080042AD)
2008년 12월 30일 접수, 2009년 4월 20일 채택
[1] 아주대학교 산업공학과 대학원
[2] 현대·기아 자동차 설비제어기술팀
[3] 아주대학교 산업정보시스템 공학부 정교수
[4] 아주대학교 산업정보시스템 공학부 부교수
주 저 자 : 고민석
교신저자 : 구락조
E-mail; lockjo9@gmail.com

1. 서 론

현대 산업계는 다양한 소비자의 요구에 대응하기 위해 다품종 소량생산 시스템 및 JIT(Just In Time) 시스템을 도입하고 있다. 이러한 시스템의 도입을 위해서는 생산 시스템 정보와 물류의 일체화가 필요하며, 이에 따라 각종 기기의 고속화 및 고정밀 제어가 필수적으로 되고 있다. 또한 생산 부품 반송 및 용도 변경의 유연성을 위해 신속한 생산 부품의 물류 체계의 구현이 필요하며 그 중에서 자동창고 시스템(AS/RS; Automated Storage and Retrieval System)이 중심적인 역할을 하고 있다[5].

AS/RS는 화물의 저장/반출 시에 공간 이용을 최소화하고 이용률을 최대화하기 위해 장비 운용이 자동화된 창고이다. 이는 설비와 관리방식을 자동화 하고 재고관리의 강화를 통해 생산성 향상을 도모하는 공장 자동화의 한 수단으로서 이용된다. 또 AS/RS의 운용기술은 생산자동화, 물류자동화, FMS, CIM등을 구축하는데 필요한 핵심적인 요소이다. 하지만 각 기능의 제어를 위해 각각 특별한 규약의 제어코드나 통신코드를 가지고 있고, 전용 Controller를 사용하기 때문에 통합운영 차원에서 체계적인 정보구조를 갖고 운영하기에는 여러 가지 문제점이 존재한다[1,2].

자동차 제조공정의 경우 하나의 공장에서 여러 종류의 자동차가 생산되기 때문에, 차종과 파트에 따라 패널의 종류가 매우 다양하다. 따라서 다른 산업의 AS/RS보다 더 정교하고 빠른 대응이 가능한 시스템을 필요로 하나, 그 복잡도가 높아 PLC(Programmable Logical Controller)로 운용되는 제어 로직의 검증이 매우 어렵다. 이는 PLC 코드가 설비 관점의 Low Level 언어로 기술되고 사용자의 경험과 지식에 크게 의존되어 작성하기 때문에 코드 작성 및 검증 과정에 있어서 많은 노력과 시간이 요구되며, 이는 AS/RS 설치 및 시운전 과정에서 큰 문제점으로 작용한다[3].

1.2 기존연구와의 차별성

본 연구에서는 물류시스템을 대표하는 AS/RS를 대상으로 체계적 정보구조를 갖는 시뮬레이션 환경을 구축하고자 한다. 기존의 메타 모델을 통한 시뮬레이션[4]이나 이산사건 시스템을 이용한 논리 검증 시뮬레이션과는 달리[8,9] 실제 데이터를 사용하여 현장 일치도를 높이고 지속적으로 사용 가능한 시뮬레이션 환경을 구축하였다. 본 논문에서 제안하는 주요 개념은 다음과 같다.

- 시뮬레이션 모델의 직접 연동.
- 시뮬레이션 모델의 사실적 표현.
- 시뮬레이션 모델의 사용성 증대.

여기서 시뮬레이션 모델의 직접 연동은 완성된 시뮬레이션 모델이 추가 작업 없이 현장에서 사용될 수 있음을 의미하고, 시뮬레이션 모델의 사실적 표현은 개략화 시킨 모델이 아닌 현장의 설비 실측 데이터에 기반을 둔 3D 모델 환경을 말한다. 또한, 시뮬레이션 모델의 사용성 증대는 사용자가 쉽게 시뮬레이션 할 수 있고, 후에 유지 보수를 통해 모델을 확장 시킬 수 있도록 하는 것을 말한다.

이 논문에서는 자동차 패널 공급을 위한 AS/RS 의 로직 검증을 위해 PLC 입출력 신호에 기반을 둔 I/O 모델과 현장 상태를 반영하는 3차원 그래픽 시뮬레이션 모델을 이용하여 가상공장(Virtual Factory)을 구현하였다. 이를 이용해 가상환경 하에서 AS/RS의 PLC 코드를 검증하고, 검증결과를 3D 모델을 통해 확인하여 현장 구축 이전에 검증을 모두 마치는 성과를 가져왔다. 본 논문에서는 이 일련의 과정 및 구축 방법을 설명하고자 한다.

본 논문의 제 2장에서는 현업의 AS/RS 프로세스 및 시뮬레이션 적용 방안을, 제 3장에서는 AS/RS의 I/O 모델정의를 제 4장에서는 AS/RS 3D 작업장 구축 방법을 설명하며 제 5장에서 결론을 말할 것이다.

2. AS/RS 프로세스 및 시뮬레이션 적용 방안

자동차 산업이 부흥함에 따라 하나의 생산라인에서 여러 차종을 생산하는 다 차종(多 車種) 생산시스템이 보편화 되고 있다. 이에 따라 생산라인에 배치되어 있는 로

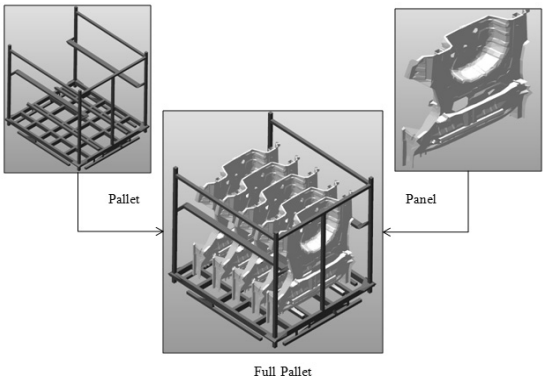


그림 1. Panel and Pallet

봇, 치구(Fixture), 운반기(AGV) 등의 설비들은 PLC로부터 전송되는 차종코드에 따라 수행하는 작업을 달리하여, 동시에 여러 차종을 생산하고 있다. 이러한 생산 시스템 중에서 차체 조립 생산라인의 경우 그 복잡도가 더욱 증가한다. 왜냐하면, 차종 별 패널(Panel)의 종류 및 수가 다양하기 때문에, 적시에 특정 패널의 존재를 확인한 다음 이를 원하는 위치에 공급해야 하기 때문이다.

그림 1 과 같이 패널은 팔레트(Palette)에 일정 수량을 단위로 하여 창고에 저장된다. 과거에는 사람이 직접 팔레트를 특정 위치에 운반하고, 빈 팔레트를 회수해 왔다. 하지만 현재는 AS/RS 를 이용해서 보다 편리하게 운반과 데이터 관리를 수행하고 있다[1].

2.1 AS/RS 시뮬레이션 개요

자동차 조립공정의 AS/RS 시뮬레이션의 목적은 현장 설치 이전에 제어 로직 및 PLC 코드를 미리 검증해서 시운전 시 발생하는 논리적 오류 및 코드 문제를 줄이고자 함이다. 본 논문에서 구축하고자 하는 전체 시뮬레이션의 개요를 정리하면 그림 2와 같다.

① 공법파악 : 기존 공정의 흐름과 PLC 프로그램을 이해한다. 여기서 공법 파악이란 공정 전체 시퀀스를 이해하고, 각 단계별 설비의 역할, 동작 및 구동순서를 이해하는 것을 말한다. 이 과정을 통해 PLC 프로그램의 전체 순서 및 구도가 그려진다.

② 가상라인 구축 : 실제 현장에 사용하는 설비들을 가상 설비로 만들어서 물리적 동작(Physical Motion)을 검증한다. 공정을 구성하는 각 설비들의 3D 데이터를 수집, 작성하고 동역학 정보(Kinematic)를 입력하여 실제 설비 동작과 같은 가상 설비를 만든다. 그리고 각 설비들의 입, 출력 정보를 바탕으로 I/O 모델을 만든다.

③ 제어 시스템 구축 : 파악된 공법을 바탕으로 PLC 코드를 작성한다. 기존 코드들 중 사용 할 수 있거나, 참조할 만한 정보들을 이용하고, 이를 바탕으로 새로운 라인에 대한 PLC프로그램을 작성한다.

④ 수동운전 검증 : 수동운전 검증이란 공정 전체 시퀀스를 검증하기 전에 I/O 모델을 이용하여 각 설비의 동작을 검증하는 것을 말한다. PLC와 연결되는 설비의 입력 값을 임의로 조정하여 출력 값을 관측하고, 부분적 코드 수정을 수행한다. 그리고 공정에 투입되는 모든 설비들의 I/O 모델과 3D 모델을 연결하여 물리적 동작이 정확히 작동하는지 확인한다.

⑤ 자동운전 검증 : 실제 현장에서 사용하는 HMI(Human Machine Interface), 하드웨어 PLC, I/O 모델을 연결하여 공정 전체의 PLC 코드를 검증한다. 이 과정을 통해서 실제 현장설비와 똑같이 효과를 볼 수 있는 AS/RS DF(AS/RS Digital Factory)가 완성된다. 따라서 현장 AS/RS 설비를 직접 다루지 않고 PLC와 연결된 DF를 이용해 사전에 PLC 코드 및 로직을 검증할 수 있게 된다.

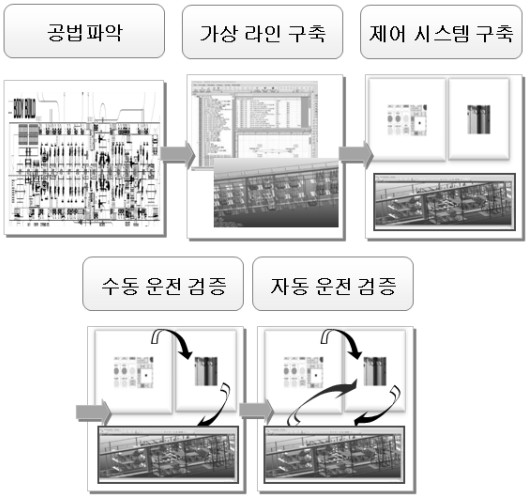


그림 2. Procedure of AS/RS simulation

2.2 자동차 조립 라인의 AS/RS 구조

그림 3은 자동차 제조 시스템에 사용되는 AS/RS의 일반적인 모습이며 이는 총 5개의 요소로 구성되어 있다.

① 팔레트(Palette) : 팔레트는 패널을 운송하는데 있어서 패키지의 역할을 한다. 따라서 팔레트 별로 일정 개수의 패널이 놓이며, 가득 찬 팔레트를 풀(Full) 팔레트, 패널이 없는 팔레트를 빈(Empty) 팔레트라고 명한다. 각 차종 및 패널 종류에 따라 팔레트의 모양 및 색을 다르게 하여 구분한다.

② 랙(Rack) : 랙은 팔레트가 놓이는 공간으로, 다 층 구조의 저장 창고이다. 랙은 그 위치에 따라 고유의 번호를 가지고 있으며, 이는 랙의 주소 역할을 한다. 풀 팔레트가 투입되는 부분은 Rack(IN)이며, 로봇에 의해 팔레트가 추출되는 부분이 Rack(OUT)이다.

③ 지게차(Forklift) : 지게차는 Rack(IN) 의 앞 위치에

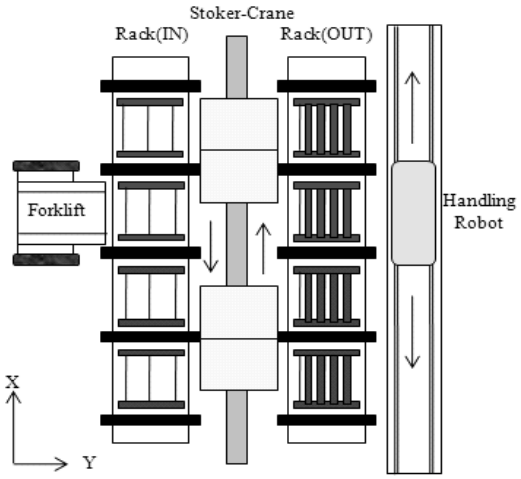


그림 3. AS/RS of the Automobile Manufacturing System

서 팔레트를 넣고 빼는 역할을 한다. 만약 Rack(IN)에 빈 팔레트가 오면, 이를 빼내고 풀 팔레트를 넣는다.

④ 스토커크레인(Stoker-Crane) : Rack(IN)과 Rack(Out) 사이에서 팔레트를 운반하는 이송장치이다. Rack(OUT)에 빈 팔레트가 생기면, 이를 집어 Rack(IN)으로 옮겨주고, 다시 풀 팔레트를 집어 Rack(OUT)에 넣어주는 역할을 한다. X, Y, Z 축 별로 모터가 존재하며, 각 모터는 PLC 로부터 정수 좌표(Integer Coordinate Value)를 받아 움직인다.

⑤ 핸들링 로봇(Handling Robot): Rack(OUT)의 후면에 위치하여, 팔레트로부터 패널을 한 장씩 꺼내가는 역할을 한다. 특정 팔레트의 마지막 패널을 추출할 때, PLC로 추출완료 신호를 출력하여, 팔레트가 비어있음을 알리는 역할을 한다.

이 5가지 요소를 이용해서 AS/RS 시뮬레이션 환경을 구축하고, PLC 코드 검증을 수행하는 것이 본 연구의 목표이다.

표 1은 자동차 조립공정의 AS/RS 프로세스에서 각 팔레트가 가지고 있는 데이터 구조이다. 예를 들어 {A1, Back, Full, (1,1,1)}은 RACK(OUT)사이드 1행 1층에 있는 A1차종 Back 패널이 가득 차 있는 팔레트를 의미한다.

2.3 AS/RS 시뮬레이션의 가정 및 범위

차체 조립공정의 설비 중에서 AS/RS는 물리적, 논리적으로 대형설비에 속한다. 따라서 본 논문에서는 시뮬레이션의 효과 및 사실성을 높이고자 시뮬레이션 대상의 범위를 한정하고, 물리적 한계를 가정한다.

표 1. Data structure of Pallet

Tag	표기	내용
차종정보	“A1”, “A2”, …, “A4”	각 차종의 코드명을 말한다.
패널종류	“Back”, “Front”, … “Cowl”	차종의 부분 명을 칭한다.
패널 유무	“Full”, “Empty”	Full: 패널이 가득 찬 팔레트 Empty: 패널이 없는 빈 팔레트
위치정보	(X, Y, Z)	X: Rack의 X축 번호 Y: Rack의 Y축 번호 Z: Rack(IN) = 0 RACK(OUT) = 1

① 지게차에 의해 운반되는 풀 팔레트 및 빈 팔레트는 본 시뮬레이션 범위에서 제외한다. AS/RS 로직 검증이 주된 관심사이므로, 사람이 작동 시키는 지게차 부분은 사용자 정의에 의한 이벤트로 대체 시켜 시뮬레이션 한다.

② 로봇이 팔레트에 있는 패널을 모두 가져가면 마지막 패널을 가지고 가는 순간 빈 팔레트가 됐음을 알리는 신호가 출력된다. 지게차와 마찬가지로 로봇에 의해 추출되는 팔레트 부분은 고려사항에서 제외하도록 한다.

위의 2가지 가정은 시뮬레이션 대상의 범위를 AS/RS 로직검증으로 제한하겠다는 의미이다. 따라서 AS/RS의 Rack 외적인 지게차 및 로봇에 의한 패널 생성, 소멸 부분은 이벤트로 대체하도록 한다.

2.4 AS/RS 프로세스

그림 4는 AS/RS에서 팔레트의 이동 로직 및 고려사항을 나타낸 그림이다. 본 로직에서 다루는 고려사항은 표 1의 ① 차종 ② 패널 종류 ③ 랙 위치 ④ 팔레트가 가득 찼는지 여부 이다. 팔레트 이동로직은 총 6단계로 진행되며, 1단계 이전과 6단계 이후의 스토커크레인은 "신호 대기 상태(Standby state)"에 놓여 있다. 그림 4에 제시된 로직 진행의 예는 다음과 같은 의미를 갖는다.

① Happen: 로봇이 (1,1,1) 랙 (1행, 1층, Rack(out))

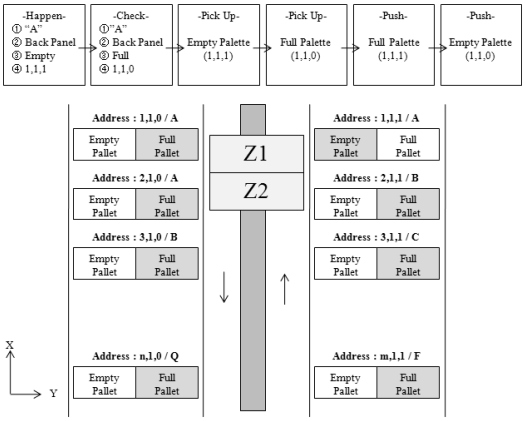


그림 4. Process of AS/RS

에 놓여있는 "Back Panel" 팔레트의 마지막 패널을 추출함과 동시에(1,1,1) 팔레트가 비었다는 신호가 생성된다.

② Check: "Back Panel"의 풀 팔레트가 놓여있는 (1,1,0)랙을 확인한다. 만약에 이곳에 팔레트가 놓여있지 않다면, 다음 단계로 진행될 수 없다.

③ Pick Up(Empty): (1,1,1)에 놓여있는 빈 팔레트에 스토커크레인이 접근한다. 그리고 스토커크레인의 Z1 부분에 빈 팔레트를 로딩(Loading)한다.

④ Pick Up(Full): (1,1,0)에 놓여있는 풀 팔레트에 스토커크레인이 접근한다. 그리고 스토커크레인 Z2 부분에 이 팔레트를 로딩 한다.

⑤ Push(Full): 현재 Z2에 놓여있는 풀 팔레트를 (1,1,1) 랙에 언 로딩(Unloading)한다. 풀 팔레트가 들어감과 동시에 신호가 생성되고, 이 신호를 감지한 로봇은 패널로 접근한다.

⑥ Push(Empty): 현재 Z1에 놓여있는 빈 팔레트를 (1,1,0) 랙에 언 로딩 한다.

이상의 6단계 절차는 하나의 빈 팔레트를 풀 팔레트로 바꾸는 일련의 과정이다. 팔레트 하나를 대상으로 하면 로직이 많이 복잡하지 않지만, 여러 종류의 팔레트를 대상으로 장시간으로 수행할 경우 복잡도가 매우 높아진다. 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 팔레트간의 이동을 눈으로 확인할 수 없다. AS/RS 2D 도면을 참조하여 랙의 전, 후 상태를 확인하고 로직을 검증하는 것은 매우 어렵다. 둘째, PLC 코드 상에 이벤트(팔레트 생성, 소멸)를 만들기 힘들다. 사용자가 PLC 코드 상에 이벤트를 주기 위해서는 팔레트 생성을 감지하는 센서 신호를 임의로 변경하여야 하기 때문에 시간, 노력이 매우 많이 요구된다.

본 논문에서는 이 같은 AS/RS 프로세스를 시뮬레이션하여 사용자가 전, 후 상태를 쉽게 파악할 수 있고, PLC 코드의 논리적 오류를 눈으로 확인하는 것을 목적으로 한다.

2.5 PLC 시뮬레이션 환경 구축

교차로의 신호등은 일정 시간간격, 통행량 등의 조건에 따라 차량 흐름을 제어한다. 이때, 신호등의 신호는 신호를 받는 차선의 흐름을 진행(시작)시키거나, 통제(정지)시켜서 전체 차량의 질서를 유지시킨다.

생산시스템에 있어서 PLC(Programmable Logical Controller)는 신호등과 같은 역할을 한다. 레이아웃에 맞춰 배치된 설비들은 동작 대기상태에 있다가, PLC가 보내는 입력신호에 따라 동작을 수행한다. 그리고 동작이 끝난 설비는 자신이 동작을 완료했음을 나타내는 출력신호를 PLC에 보내고, PLC는 완료 신호를 토대로 다음 프로세스를 진행시킨다.

그림 5는 PLC와 설비간의 신호 입, 출력 관계를 나타내는 그림이다. 공정을 구성하는 설비는 입력 포트, 출력 포트 그리고 다수의 센서들을 통해 PLC와 통신을 한다. 그리고 PLC 공정 설비들과의 통신을 통해 신호를 수급한 뒤 PLC 코드에 적용시켜 프로세스를 진행 시킨다. 설비는 PLC 출력 신호를 바탕으로 작업을 진행하고, 작업진행결과는 센서를 통해 다시 PLC로 전해진다. 이 같은 프

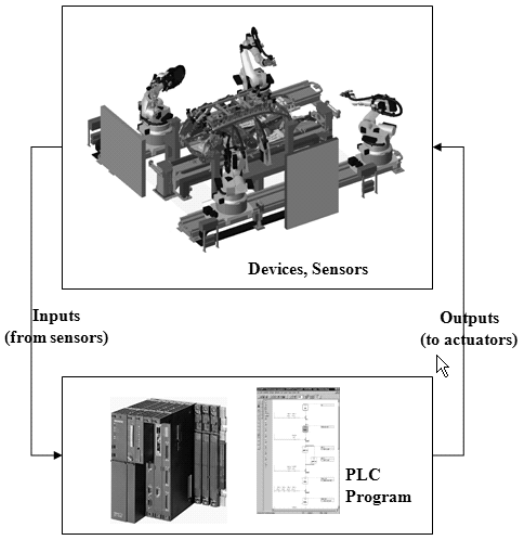


그림 5. Production system controlled by a PLC program

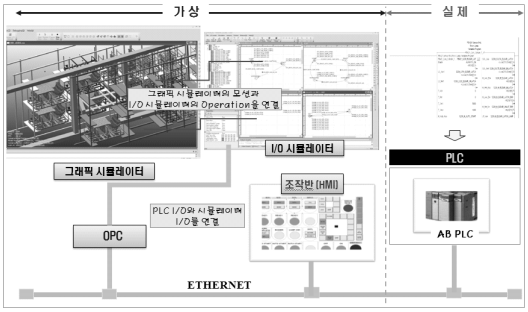


그림 6. PLC Simulation Environment for AS/RS

로세스를 갖는 PLC는 스캐닝 사이클(Scanning Cycle)을 통해 프로그램 진행 중에도, 다음 프로세스를 계속 업데이트 하는데, 이는 입, 출력 정보 및 내부 연결(Internal Relay) 신호를 이어주는 불리언 로직 (Boolean Logic)을 스캔 하는 것이다. 사이클을 스캔 하는 동안 출력 및 내부 연결테이블은 계속 업데이트 되어 다음 사이클을 위한 새로운 신호를 준비한다[6].

본 시뮬레이션의 목표는 현업 데이터를 토대로 가상 AS/RS 공장을 구축하고, 이를 이용해 PLC 코드를 검증하는 것이다. 그림 6은 전체 시뮬레이션 환경의 구조를 나타낸 그림으로 좌측은 가상 시뮬레이션 환경 이며, 오른쪽은 실제 현장에서 사용하는 PLC 코드에 관한 부분이다.

가상 공장은 그래픽 시뮬레이터와 I/O 시뮬레이터[6]로 구성되어 있다. 이 둘은 본 시뮬레이션 환경의 핵심 사항으로, 실제 PLC 코드의 심벌(symbol) 값과 실측 3D 데이터를 사용하였다.

① I/O 시뮬레이터: I/O 시뮬레이터는 PLC 코드와 연결되는 입, 출력 신호를 이산사건 모델로 작성한 것으로써, PLC 코드 중 사용자가 관심 있게 봐야 하는 신호들을 모델링 한 것이다. 따라서 사용자는 AS/RS 모델을 움직이는 중요 로직을 I/O모델로 작성할 수 있게 된다.

② 그래픽 시뮬레이터: 실제 공장을 구축할 때 사용하는 설비 실측치를 기반으로 만든 3D 모델이다. AutoCAD 파일의 치수를 기반으로 3D 모델을 디자인하였기 때문에, 현장 설비와 같은 역할을 한다. 차체 패널 데이터 또한 실제 차종의 패널의 사용하였으며, 디바이스 동작(Joint, Acceleration, Deceleration, Velocity 등)도 실제와 같다.

③ OPC: OPC는 OLE for Process Control의 약자로써 PLC 입, 출력 점과 I/O 시뮬레이터를 연결하는 역할을 한다.

④ 조작반(HMI): HMI는 Human Machine Interface의 약자로써, 공장 사용자가 사용하는 조작반을 PC 상에서 작동 할 수 있도록 하는 사용자UI(User Interface)이다.

⑤ AB PLC: 실제 현장에서 사용하는 하드웨어 PLC로써, 작성된 PLC 코드에 따라 입력신호를 받아 로직을 진행시키며, 출력신호를 산출한다.

⑥ ETHERNET: 하드웨어 PLC 로부터 나오는 신호를 가상 공장과 연결해주는 통로 역할을 한다.

3. I/O 모델 구축.

본 연구에서 적용하고자 하는 자동차 조립공정의AS/RS 라인은 스토커크레인의 위치 정보, 랙 방(Rack room)의 위치 정보, 각 랙의 파트 유무 등의 입출력 신호로써 PLC 프로그램이 작성된다. 따라서 본 연구에서는 Park[7]의 Logical model을 적용하여 실제 PLC 프로그램의 정보와 그래픽 모션을 위한 매개 역할을 수행함으로써, 가상 생산라인을 설계하였다. 기본적으로 Logical model은 FSA (Finite State Automata)를 바탕으로 상태 (State) 기반의 객체 모델[8,9]을 사용하며, 다음과 같은 9개의 요소로 구성되어 있다.

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

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

Logical 모델에 의해 생성된 모델링 결과는 입력, 출력, 상태 집합으로 구분되며 상태의 변화는 PLC와 입·출력 신호를 주고받음으로써 δ_{ext}, δ_{int}, λ_{ent}, λ_{leave}, $\lambda_{disable}$에 의해 결정된다. δ_{ext}, δ_{int}, λ_{ent}, λ_{leave}, $\lambda_{disable}$에 대한 자세한 설명은 표 2와 같다.

Logical model을 기반으로 스토커크레인의 위치 정보, 랙 방의 위치 정보, 각 랙의 파트 유무에 대한 모델링을 수행하기 위해서는 X축의 위치정보(크레인위치), Y축의

표 2. Description of Logical Model Tuple

Tuple 예시	설명
δext(A,I|△)=B	현재 상태가 A이고 PLC로부터 I가 입력이 되면 △동안 B로 상태가 변한다.
δint(A,△)=C	현재 상태가 A이면 △동안 C로 상태가 변한다.
λent(B)=O1	모델이 상태 B로 들어올 때, PLC로 O1을 출력한다.
λleave(B)=O2	모델이 상태 B에서 나갈 때, PLC로 O2를 출력한다.
λdisable(B)=M1	모델이 상태 B로 들어올 때, 모델 M1을 억제한다.

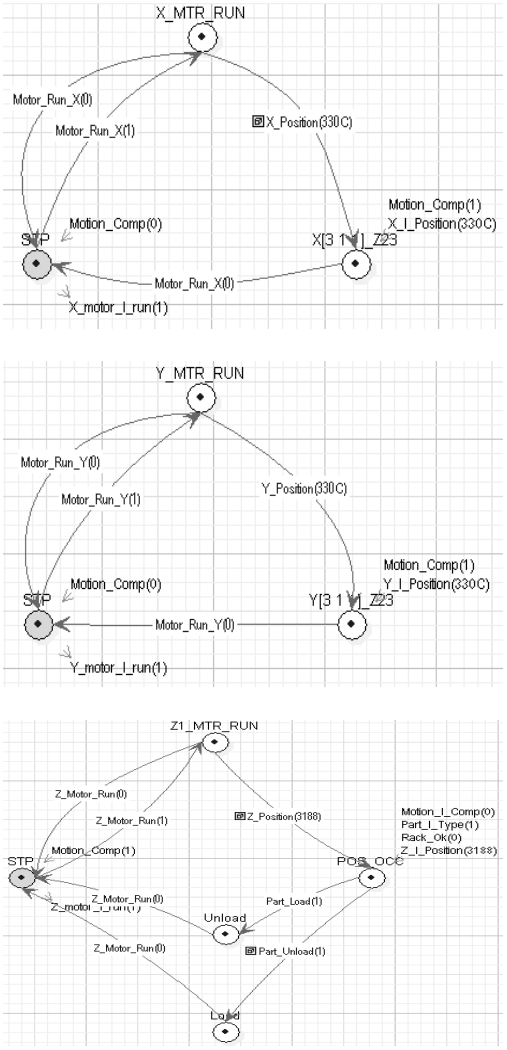


그림 7. I/O Model for AS/RS

표 3. Description of Implemented Logical Model Symbol

Symbol	설명
*_Motor_run	각 축에 해당하는 동력원인 Motor의 작동관련 신호
*_Motor_I_run	*_Motor_run의 PLC 입력 tag
*_Position	각 축의 위치 정보
*_I_Position	*_Position 의 PLC 입력 tag
Part_I_type	현재 크레인에서 입력받은 Part Type
Rack_Ok	Part load와 unload의 입력 신호로써 현재 크레인상의 랙의 존재 여부 관련 신호

위치정보(랙 방 위치), Z축으로의 위치정보(파트 유무)로 모델링이 이루어져야한다. 따라서 본 연구에서 PLC 프로그램을 분석하여 모델링 한 결과 그림 7과 같은 형식으로 Logical model을 구현하였으며 각각의 위치와 Symbol 정보는 실제 PLC의 Tag 값을 사용하여 수행하였다.

Logical model은 아주대에서 개발한 PLC Studio를 활용해 적용하였다. PLC Studio는 Logical model을 그래픽과 연동하여 시뮬레이션 할 수 있는 환경을 제공해 주는 소프트웨어이다[10,11]. 이는 C++로 작성되어 있으며 시뮬레이션 엔진과 환경을 제공해주기 때문에 추가적인 작업 없이 사용 가능하다. 구현된 모델에 대한 각 심벌의 설명은 다음과 같다.

4. AS/RS 3D 작업장 구축.

4.1 3D 모델 구축

본 장에서는 AS/RS 시뮬레이션 환경의 한 모듈인 3D 시뮬레이터에 관한 내용을 설명할 것이다. 3D 시뮬레이터는 실제 공정 환경을 가상공간에 구현하는 것으로써, 3D 형상 모델과, 구동을 위한 동역학 정보로 구성된다.

I/O 시뮬레이터로부터 시작 신호를 받은 3D 모델은 동작을 수행하고, 동작이 종료되면 I/O 모델로 종료 신호를 보낸다. 즉, 실제 로직 검증은 I/O 모델로부터 수행되며, 3D 시뮬레이터는 로직을 현실에 반영하는 역할을 한다.

AS/RS 3D 작업장(Cell)은 크게 두 가지 요소로 정의되는데, 첫째 동역학(Kinematic) 정보를 가지고 있지 않은 패널, 팔레트, 랙 과 둘째, 동역학 정보를 갖고 있는 스토커크레인으로 나눠진다(그림 8).

그림 9는 동역학 정보를 가지고 있지 않은 3D 모델들로써, 실제 자동차 조립공정에 사용되는 자동차의 패널, 팔레트 그리고 랙이다. 자동차 차체 조립라인의 경우 패

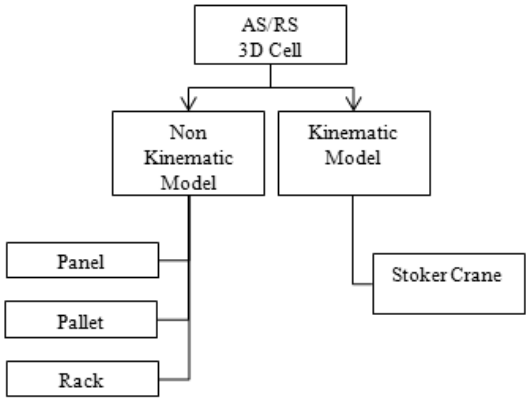


그림 8. AS/RS 3D cell hierarchy

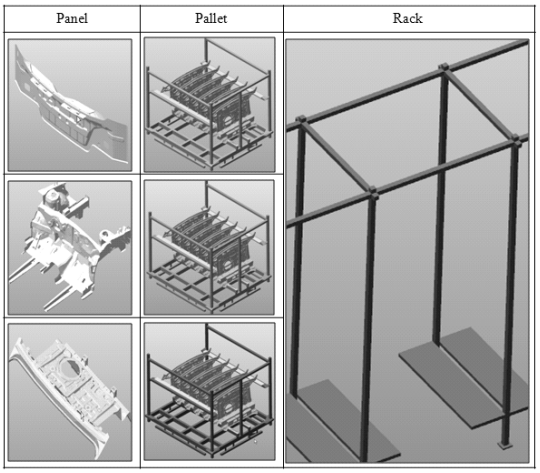


그림 9. Non Kinematic 3D Model

널 및 팔레트의 종류가 다양하기 때문에 차종에 따른 구분을 색깔로 하였다.

그림 10은 동역학 정보를 갖고 있는 스토커크레인의 3D 모델 및 정보를 나타낸 것이다. 그림 8 모델들과는 달리 스토커크레인은 PLC 신호를 이용해 X, Y, Z 축으로 이동하는 동작을 갖기 때문에 그림 10 아래의 구조와 같은 동역학 정의가 반드시 필요하다. 스토커크레인은 PLC로 부터 전달 받는 X, Y 좌표 정보를 이용해 팔레트로 접근하며, Z축 정보를 이용해 팔레트로 포크(Fork)를 뻗고, 당긴다. 이 정보들은 실제 현장에서 사용되는 스토커크레인 구동 메커니즘에 기반을 둔 것이기 때문에, 사실적인 움직임 표현이 가능하다.

3D 작업장을 구성하는 데이터들은 다음과 같은 경로

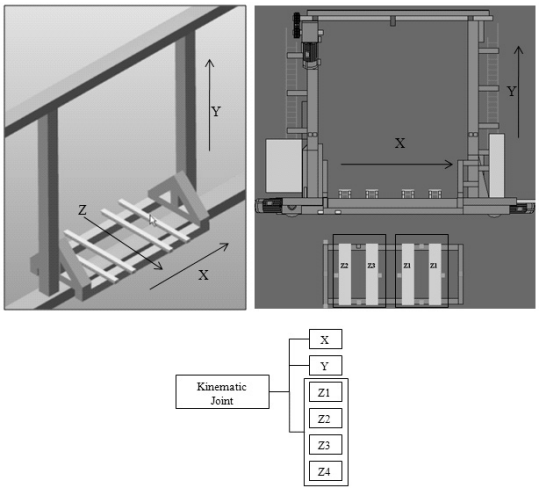


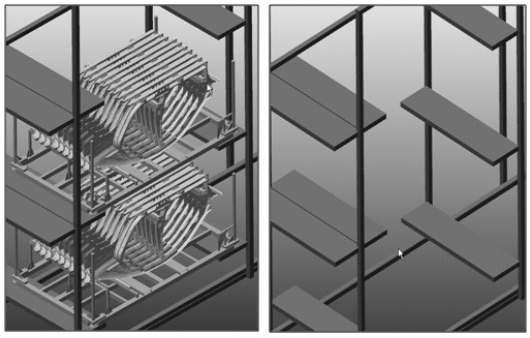
그림 10. Kinematic 3D Model (Stoker Crane)

로 만들어 졌다. 패널데이터는 차체 디자인에 사용된 CATIA v5 파일을, 팔레트 데이터는 설비 디자인에 사용된 Solid Edge 데이터를 변환하여 사용하였다. 그리고 랙, 스토커크레인 모델은 Autocad 도면의 치수를 토대로 PLCStudio 상에서 모델링 하였다. 이 3D 모델들은 실제 현장에 사용 중인 설비 및 패널의 치수를 그대로 따르는 모델들이다. 이처럼 실제 크기에 기반을 둔 모델을 사용할 경우 이점은 다음과 같다. 첫째, 모든 3D 모델을 실측치 기준으로 모델링 할 경우, 서로간의 비율이 맞아 크기 변경을 위한 추가 작업이 필요 없다. 둘째, 3D 모델의 모션의 크기가 현장의 크기와 일치하므로, 사실적 검증이 가능하다. PLC로부터 전달되는 X, Y, Z 값은 현장에 배치된 랙 길이의 정수 값(Integer Value)이기 때문에 비율 보정 없이 신호를 바로 사용할 수 있다.

4.2 3D 시뮬레이션 이벤트 생성

2.2절에 언급하였듯이 본 논문에서 구현하는 AS/RS 시뮬레이션 환경에는 2가지 제약이 있다. 즉 지게차가 팔레트를 넣고 빼는 작업과 로봇이 패널을 추출해가는 작업에 대한 내용은 포함되어 있지 않다. 따라서 이 두 가지 사항은 3D 시뮬레이션 이벤트로 다루었다. 여기서 이벤트란 동역학 정보처럼 3D 모델 고유의 특성이 아니라 작업장 레벨의 시뮬레이션을 위해 특정 행위를 인위로 일으키는 것을 말한다.

그림 11은 AS/RS 3D 작업장 내에서 일어나는 팔레트 생성 이벤트 (Pallet creation event) 와 소멸 이벤트 (Pallet extinction event) 이다. 실제 작업장에서는 각 랙 위치에



(a) Pallet creation event (b) Pallet extinction event

그림 11. 3D simulation event creation

배치된 센서신호를 통해 빈 팔레트가 놓여있음을 알리고, 지게차가 빈 팔레트를 추출해 간다. 3D 작업장에서도 같은 식으로 센서 신호를 통해 특정 랙 위치에 빈 팔레트가 발생했음을 알 수 있지만, 지게차를 고려하지 않기 때문에 이를 추출할 수 있는 방법이 없다. 따라서 본 시뮬레이션에서는 이를 생성 및 소멸 이벤트로 처리하여 실제와 같은 환경을 구현하였다.

5. 결과 및 토의.

이 논문에서는 공정 분석을 바탕으로 PLC 로직을 작성하고, 현장 설비에 대응하는 3D 시뮬레이션 환경을 구축하여 현장 시운전 이전에 전체 PLC 코드 및 로직을 검증하는 AS/RS 시뮬레이션 환경을 구축하였다. 실제 현장의 실측 데이터를 기반으로 3D 모델을 만들고, 설비 입, 출력 정보를 기반으로 I/O모델링하였기 때문에 기존 연구[4]에서 제시된 메타모델을 이용한 효율적 방법의 소개 보다는 실제 공정에서 사용가능한 시뮬레이션 모델 제시에 중점을 두었다. 또한 PLCStudio와 OPC, 하드웨어PLC, HMI를 연동하여 실제 현장의 설비를 시운전 하는 것과 같은 효과를 내는 환경을 구현하였다.

이 같은 AS/RS 시뮬레이션 환경을 자동차 차체 조립 라인의 실제 PLC 코드에 적용시켜 구현함으로써 본 논문에서 제안하는 환경의 사실성 및 타당성을 충분히 검토했다. 이러한 접근 방법은 AS/RS와 같은 복잡한 물류시스템의 설치 이전 단계에서 시뮬레이션의 로직 검증의 참여도를 극대화 시키고 최종 설치 모델의 정확도를 향상시키는데 기여 할 것이다. 본 연구를 기반으로 차체라인 전체 설비를 기반으로 한 DF 기반 PLC 검증 시뮬레이션 연구를 지속적으로 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

1. W. H. Hausma, L. B. Schwarz, S. C. Graues, “Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing System”, *Management Science*, Vol. 22, No. 6, pp. 629-638, 1976.
2. M. Han, L. F. Mcginnis, J. S. Shieh, J. A. White, “On Sequencing Retrievals in an Automated Storage Retrieval System”, IEEE Transactions, Vol. 19, No. 1, pp.55-66, 1987.
3. W. B. Lee, C. H. Roh, “Design of A PLC Program Simulator for nuclear Plant Using Compiler Technology”, *한국시뮬레이션 학회 논문지*, Vol. 15, No. 1, pp. 11-17. 2006.
4. J. Y. Kang, H. C. Lee, I. S. Um, “A Study for Design Optimization of an Automated Distribution Center using the Simulation and Metamodel”, *한국시뮬레이션 학회 논문지*, Vol. 15, No. 3, pp. 103-114. 2006.
5. H. S. Kim, S. Kawaji, “A Study on the Modeling and Its Characteristic of AS/RS Stacker Crane in High Rack Automated Warehouse System”, *한국동력기계공학회 ‘99 춘계학술대회논문집*, pp. 369-374, 1999.
6. S. C. Park, C. M. Park, G. N. Wang, “A PLC programming environment based on a virtual plant”, *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 39, pp. 1262-1270, 2008.
7. C. M. Park, K. Y. Seong, S. C. Park, G. N. Wang, K. H. Han, “Simulation based Control Program Verification in an Automobile Industry”, *The International Conference on Modelling, Identification and Control*, Innsbruck, Austria, 2008.
8. B. P Zeigler, Multifacetted modeling and discrete event simulation, *Academic Press*, Orland, 1984.
9. T. G. Kim, DEVSIM++ User's Manual, *Department of Electrical Engineering, KAIST, Korea*, 1994.
10. UDMTek, “PLC Studio® 제품 소개”, http://www.udmtek.com, 2008.
11. C. M. Park, “Development of Virtual Simulator for Visual Validation of PLC Program”, *International Conference on Computational Intelligence for Modeling Contol and Automation*, pp. 32-36, 2006.

고 민 석 (sebastianminsuk@hanmail.net)

2007 아주대학교 산업정보시스템공학부 학사
2007 아주대학교 산업공학과 대학원 석사
2009 아주대학교 산업공학과 대학원 박사 과정

관심분야 : Programmable Logic Controller(PLC), Simulation, CAD/CAM, FMS, Factory Automation

구 락 조 (rockjo9@ajou.ac.kr)

2006 아주대학교 산업정보시스템공학부 학사
2008 아주대학교 산업정보시스템공학부 석사
2008～아주대학교 산업공학과 대학원 박사 과정

관심분야 : FMS, Factory Automation, Simulation, Image Processing

곽 종 근 (jkwak@ajou.ac.kr)

1989 포항공대 전자계산학과 학사
1994 포항공대 컴퓨터공학부 석사
2007～아주대학교 산업공학과 대학원 박사 과정

관심분야 : Computer science, FMS, Factory Automation, Simulation, Image Processing

홍 상 현 (hsh3298@kia.co.kr)

1995 단국대학교 전기공학 학사
2002 울산대학교 산업공학과 대학원 석사
2007～아주대학교 산업공학과 대학원 박사과정
현대기아 자동차 설비제어 기술팀 과장

관심분야 : Programmable Logic Controller(PLC), Simulation, CAD/CAM, FMS, Factory Automation

왕 지 남 (gnwang@ajou.ac.kr)

1983 아주대학교 산업공학과 학사
1985 한국과학기술원 산업공학과 석사
1992 미 Texas A&M 산업공학과 박사
1993～현재 아주대학교 산업정보시스템공학부 정교수

관심분야 : Intelligent Information & Manufacturing System, System Integration & Automation

박 상 철 (scpark@ajou.ac.kr)

1994 한국과학기술원 산업공학과 학사
1996 한국과학기술원 산업공학과 석사
2000 한국과학기술원 산업공학과 박사
2004～현재 아주대학교 산업정보시스템공학부 부교수

관심분야 : Digital Manufacturing System, CAD/CAM, CAPP, Manufacturing System Modeling & Simulation