

가상환경 기반의 컨베이어 시스템 검증을 위한 제어 시뮬레이션 연구

고민석 · 박상철[†]
아주대학교 산업공학과

A Study of PLC Simulation for Transport System in Virtual Environment

Minsuk Ko and Sang Chul Park[†]

Department of Industrial Engineering, Ajou University

Received 10 February 2012; received in revised form 22 June 2012; accepted 27 June 2012

ABSTRACT

This paper proposed a control simulation method for design and verification of the transport system in an automobile assembly line based on digital manufacturing system. The design of the transport system involves two major activities: mechanical design (device specification) and electrical design (device behavior and system control). Conventionally, the simulation and emulation system of the transport system focuses on the abstract level, which mainly deals with design verification, alternative comparison, and system diagnosis. Although it can provide overall system visibility in monitoring how well it works in the process and view, its simulation models are not sufficiently realistic to be used for a detailed design or for implementation purposes. In this paper, a digital simulation model for a transport system in an automotive assembly line is constructed by adapting a digital manufacturing methodology. We use the concept of the "Virtual Probe", which transport a carrier instead of the belt of the conveyor. In conclusion, the proposed method is valuable in the process of test run in the shop floor. This method would reduce the time and effort for validating the manufacturing system and improve the productivity and integrity of the control program.

Key words: Control simulation, Digital environment, Transport system, Virtual manufacturing

1. 서 론

현대 사회에서 기업의 성공 요건은 급변하는 소비자의 요구를 빠른 시간에 맞춰주는 데 있다^[1,2]. 이는 짧아진 제품 수명 주기(Product Life-cycle)에

대응 가능한 생산 시스템을 구축하는 문제로 귀결되며, 새로운 제품을 위한 생산 시스템 구축 시, 발생하는 Down Time과 Ramp up Time을 효과적으로 감소시킴으로써 해결할 수 있다^[1]. 따라서 가장 많은 시간과 비용을 필요로 하는 생산 시스템 구축 초기 단계에서 공정 및 생산 라인의 설계, 검증을 통해, 시운전 및 현장 보정 기간을 단축할 수 있다^[1,2]. 하지만 생산 시스템은 시장의 요구를 지

[†]Corresponding Author, scpark@ajou.ac.kr
©2012 Society of CAD/CAM Engineers

속적으로 만족 시킬 수 있도록 설계 되어야 하는데, 현대 제조시스템의 다양성과 복잡성으로 인해 분석 모델을 수립하는 것이 매우 어렵다^[3]. 이러한 문제를 해결하고자, 많은 제조기업들은 PLM의 영역 중에서도 디지털 제조(Digital Manufacturing) 기술을 이용한 생산 시스템 설계 및 검증 기술을 도입하고 있다^[5]. 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 제조 기술을 현장에 적용하여 생산 시스템 설계에 필요한 의사 결정 및 기계적, 전기적 설계를 효과적으로 수행할 수 있으며, 그 결과로 시장 수요에 유연하게 대처할 수 있는 효과적 제조시스템을 실현할 수 있다^[4,5,13].

자동차 산업이 부흥함에 따라 하나의 생산 라인에서 여러 차종을 생산하는 다 차종 생산시스템이 보편화 되고 있다. 이에 따라 자동차 생산시스템의 제품(Product)에 해당하는 패널(Panel) 이송에 관한 연구들이 활발히 이뤄지고 있다. 특히, 자동화된 물류 이송장비는 설치 이전단계에서 검증하는 것이 매우 까다로운데, 그 이유는 첫째, 타 자동화 장비 보다 크기가 매우 크기 때문에, 단독 장비를 이용한 설치 및 시운전 수행이 어렵다. 둘째, 이송장비 특성 상 제품이 함께 투입되어야 이송장비의 운용상 문제를 확인할 수 있다. 셋째, 이송장비와 함께 생산시스템을 구성하는 다른 자동화 장비들과 함께 시험되어야, 검증 효과가 증대된다. 넷째, 각 기능의 제어를 위해 각각 특별한 규약의 제어코드나 통신코드를 가지고 있고, 전용 제어기(Controller)를 사용하기 때문에 통합운영 차원에서 체계적인 정보구조를 갖고 운영하기가 어렵다. 특히, 해외 시장 진출을 위해 국외 공장 증설 및 신설이 활발해진 지금, 이러한 이송 장비 검증의 문제를 디지털 제조기술로 해결하고자 하는 요구가 높아 지고 있다^[6,7].

자동차 생산시스템의 대표적 자동화 이송장치로는 AS/RS(Automated Storage and Retrieval System), Conveyer System, Shuttle System, Linear transporter 등이 있는데, 각 장치는 그 특징에 기반해 생산 시스템 내부에서 제품 이송담당하고 있다 (Fig. 1). AS/RS는 화물의 저장/반출 시에 공간 이용을 최소화 하고 이용률을 최대화하기 위해 장비

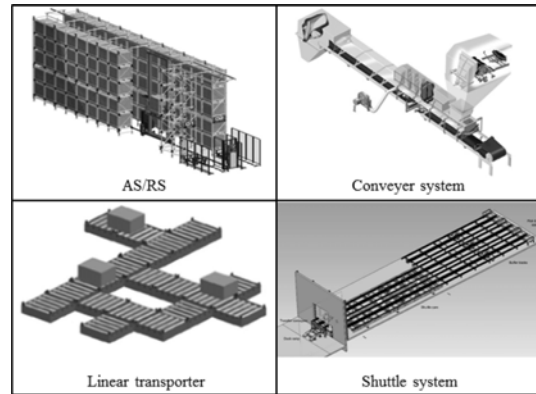


Fig. 1 Various types of transport system

운용이 자동화된 창고^[8]이며, Conveyer system은 가장 전통적으로 사용되는 자동화 물류 이송장치로써, 재료나 반제품의 운반을 목적으로 하는 반송체계를 말한다. Linear transporter는 주로 FMS 공정에 사용되는 이송 장치로써, 자기력(磁氣力)을 이용하여 여러 반제품들을 조건에 따라 움직이기 위한 시스템이다. 이들 이송 시스템은 관리방식을 자동화 하고, 재고관리의 강화를 통한 생산성 향상을 도모 하기 위한 공장 자동화의 한 수단으로써, 자동차 생산 공정의 각 부분에 널리 사용되고 있다. 또, 이송 시스템의 운용기술은 생산자동화, 물류자동화, FMS, CIM 등을 구축하는데 필요한 핵심적인 요소로 여겨지고 있다. 이러한 이송시스템은 한정적 운영정보가 아닌 확장적 운영명령을 기반으로 제어되기 때문에, 설치 이전단계에서 사전 검증을 통한 시스템 안정화가 반드시 필요하다. 하지만 앞서 말한 문제들로 인해, 타 설비들과 함께 설치된 이후 단계에서 제어 및 운용 성능 검증을 수행하고 있다^[9].

최근 국내외 여러 산업분야에 걸쳐 디지털 제조 기반의 물류 및 이송장비 검증에 관한 다양한 연구가 수행되고 있다. 양 등^[10]은 자동화 컨테이너 터미널의 안벽과 장치간의 이송장비의 설계를 위한 시뮬레이션 모델을 개발하고, 이송장비의 소요 대수 및 설계를 분석할 수 있는 평가 척도를 제시하였으며, 김 등^[11]은 가상 물류 시뮬레이션을 통하여 SGC(Single Glass Conveyer) 시스템이 기존의 AGV 시스템을 대체할 수 있는 방법이 될 수 있는 방법을 확인하고, 그에 따른 공정 배치를 제안하였다. 또한, 박 등^[6]은 반도체 생산공정의 공정을 대상으로 디지털 팩토리(Digital factory)를 구

축하고, 이를 대상으로 가상 시뮬레이션을 수행하여 최적의 공정 구현 방법을 기술하였다. 기존의 연구들은 이송장치를 포함한 공정을 대상으로 설계 단계에서 시뮬레이션 모델을 구축, 평가하여 최적의 대안을 제시하는 것에 주안점을 두고 있기 때문에, 추상화된 가상 모델 및 논리 모델을 사용하였다. 즉, 실제 설치 및 운용단계에 발생하는 문제를 사실적으로 표현, 검증하기에는 대상 모델이 한계를 갖는다. 또한 최근 국내의 자동차 업계에서는 제어프로그램 검증 소프트웨어(DELMIA®, Process Simulator®, PLCStudio®)를 도입하여, 시운전 단계에서 발생하는 문제를 가상환경에서 해결하고자 하는 노력을 지속적으로 기울이고 있다.

본 연구에서는 자동차 생산 시스템의 물류 이송장치를 대상으로 가상환경 기반 제어 시뮬레이션 모델을 개발, 적용하는 방법을 제시 한다. 특히, 자동차 생산공정의 컨베이어 시스템을 대상으로 제어시뮬레이션 모델 구축 과정에 대한 설명을 말하며, 이와 함께 이 과정에서 필요한 기계적, 전기적 정보를 활용한 사실적 제어 시뮬레이션 방법을 제시하고자 한다. 기존 제어시뮬레이션에 관한 연구들^[6,12,14,15]은 제어프로그램을 표현하기 위한 이산사건 모델에 초점을 두었기 때문에, 기계적, 전기적 정보를 동시에 고려한 가상환경 기반 제어 시뮬레이션 모델 구축 실행에 대한 방법에는 한계를 가졌다. 또한, 본 연구의 적용한 컨베이어 시스템 시뮬레이션 적용 방안은, 컨베이어 시스템의 물동량, 성능 및 레이아웃 효율성 분석^[16] 보다는 생산 시스템 설치 및 시운전 단계에서 발생하는 문제를 가상환경에서 사실적으로 검증하기 위한 효과적 대안으로 사용될 수 있다.

본 논문의 제 2장에서는 문제 해결을 위한 제어 시뮬레이션 접근 방법론에 관하여, 제 3장에서는 대상 시스템 설명 및 시뮬레이션 적용 방법을 말하며, 제 4장에서는 시뮬레이션 모델 구축 방법 및 결과를, 제 5장에서 결론 및 향후 과제에 대해 말할 것이다.

2. 제어 시뮬레이션 접근방법

본 연구에서 다루는 각 설비의 디지털 제조 기술 기반 제어 시뮬레이션 모델 작성 과정을 정리하면 Fig. 2와 같다.

‘플랜트 시뮬레이션 모델(Plant simulation model)’

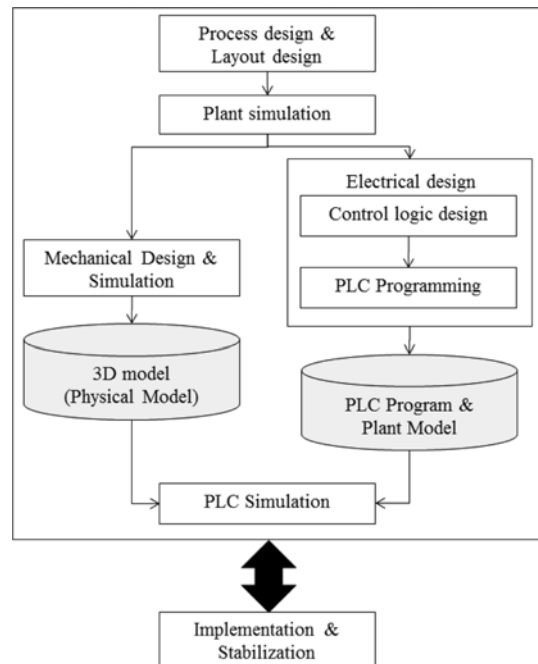


Fig. 2 A process for constructing a control level simulation environment

은 최적의 생산 시스템 설계를 목적으로 사용되는 모델로써, 이산사건시뮬레이션 기반의Automod®, ProModel®, EM-Plant® 등과 같은 소프트웨어 패키지가 대표적이라 할 수 있겠다^[7]. 이 모델로부터 공정정보를 비롯한 시스템적 설계가 완성되면, 실제 시스템에 사용 될 ‘기계적 설계(Mechanical Design)’ 및 ‘전기적 설계(Electronic Design)’가 진행된다. ‘기계적 설계’ 단계에서는 제품 정보를 기반으로 생산을 위한 각 설비에 대한 형상 및 구조 설계가 이뤄지며, ‘전기적 설계’ 단계에서는 시스템 구동을 위한 제어 프로그램 설계가 진행된다. 자동화 설비 및 로봇을 포함하는 생산 시스템의 경우, 기계적 설계 이후 로봇 프로그래밍을 위한 OLP(Offline Programming)가 수행되며, 이 단계에서 공정 레이아웃에 기반한 가상 작업장이 구축된다. 본 연구는 “기계적 설계”로부터 가상 설비 및 제품 모델, 생산 시스템 설계로부터 공정 정보, ‘전기적 설계’로부터 제어 프로그램을 획득하여, 물류 이송 장비 검증을 위한 디지털 제조 기술 기반 제어 시뮬레이션 모델을 구축하는 것을 목적으로 한다.

본 연구에서 제안하는 디지털 제조기술 기반 제어 시뮬레이션 모델의 구축과정을 세분화 하면 다

음 네 단계로 나눌 수 있다.

Control simulation environment(모델 작성을 위한 데이터 수급 및 시뮬레이션 환경 구축)

: 본 단계에서는 시뮬레이션 환경을 구성하는 ‘논리 모델(Logical model)’ 및 ‘물리 모델(Physical model)’ 작성이 수행된다. ‘논리 모델’은 제어 프로그램과 연동되어, 각 설비 및 로봇의 상태를 기술하는 DEVS기반 이산사건 모델을 말하며^[3,6,8,12,14,15], ‘물리 모델’은 실제 설비의 형상 및 행위를 표현하는 가상 모델^[3,8]을 의미한다. 논리 모델의 상태 전이는 물리 모델의 행위를 야기 시키는데, 공정을 구성하는 각 설비는 논리 모델 및 물리 모델의 행위 연결관계를 정의한 합성 모델(Synthetic model)을 갖는다^[12]. 따라서 논리 모델은 제어 프로그램에 사용되는 심볼 정보 및 공정 정보를 기본으로 하여, 사용자가 각 설비의 행위를 이산사건 형식 모델로 작성하고, 물리 모델은 기계적 설계 단계에서 얻어진 3D 모델을 사용한다.

Manual Mode Simulation(수동운전 시뮬레이션)

: 수동 운전 시뮬레이션의 대상은 공정을 구성하는 개별 설비에 한정하여, 신호에 따른 설비 구동(Device Operation) 및 오류 상황에 대한 처리 여부(Error processing)를 확인하기 위한 수행한다. 기존 수동 운전을 통한 검증은 제어 프로그램 정보에 기반한 사용자 능력에 의존하였기 때문에, 실제 설비 연결 전까지 정확한 검증이 불가능 하였다. 하지만 디지털 제조 기술 기반의 ‘합성 모델’을 사용하여, 오프라인 상에서 사용자 조작반(HMI: Human Machine Interface)을 이용한 가시적, 논리적 검증을 수행할 수 있게 되었다.

Automatic Mode Simulation(자동운전 시뮬레이션)

: 자동 운전 시뮬레이션은 대상이 되는 공정 전체를 검증하기 위한 과정으로 실제 현장 시운전을 위해 필요한 요소가 모두 사용된다. 즉, 제품 정보(ex. 차종 코드, 제품 형상), HMI, 로봇 제어 코드 및 센서 신호 정보를 입력으로 하여, 실제 현장의 검증 활동과 동일한 효과를 얻을 수 있다. 특히, 수동검증에서 수행하기 힘든 제품 정보에 따른 로봇 구동이 가능하고, 제품 모델 이동에 따른 정보를 가상센서로 취득 할 수 있기 때문에, 사실적 시운

전 효과를 얻을 수 있다.

Control simulation review(시뮬레이션 결과 검토)

: 수동 운전 및 자동 운전 시뮬레이션이 수행되는 동안 제어 프로그램의 오류 사항이 발생하면, 이를 반영하여 재 실행하게 된다. 제안하는 디지털 검증 환경을 통해, 공정의 재 시작을 위한 초기 물리적 설정의 노력을 줄일 수 있고, 현장에서 발견되는 각종 오류 사항들을 오프라인에서 파악할 수 있기 때문에, 매우 효과적으로 검증할 수 있다. 가장 쉽게 획득할 수 있는 시뮬레이션 결과물은 타임 차트(Time Chart) 인데, 이는 시간에 따른 각 설비의 상태 및 입, 출력 신호를 차트 형식으로 기록한 것이다. 따라서 공정 계획 단계에서 설계된 공정 사이클 타임과 시뮬레이션 결과 도출된 타임 차트를 비교하여 제어 프로그램 시퀀스 및 오류 파악을 할 수 있다.

본 연구에서는 이상의 디지털 제조 기반 제어 시뮬레이션 방법론을 물류 이송 시스템에 적용한 결과를 말하고자 한다. 특히, 연속 흐름의 특성을 갖는 물류 이송 장비의 논리 모델을 DEVS 형식으로 모델링 하고, 이를 디지털 제조 환경과 연동함으로써 사실적 제어 검증 효과를 얻을 수 있었다. 제 3장에서는 본 방법론을 적용한 대상 시스템에 대한 설명과 적용 과정을 설명할 것이다.

3. 컨베이어 시스템 생산라인의 적용

본 장에서는 실제 자동차 생산라인에 사용되는 패널 이송용 CONVEYOR를 대상으로 방법론을 적용하기 위한 방법 및 절차를 말할 것이다.

Fig. 3은 본 연구의 대상 공정 및 차체 패널의 이동과정을 가상 모델과 순서도로 표현한 것이다. 최상위 AS/RS는 본 공정의 선행공정으로써, 팔레트 내 패널의 차종 및 형식 정보를 차종코드 신호로 후위공정에 전송한다. AS/RS의 패널이 감지되면 ROBOT_1, ROBOT_2는 각각 PLT_1과 PLT_2에서 패널을 잡는다. ROBOT_1은 이 패널을 CONVEYOR_1의 LIFTER_FRT(CONVEYOR 앞단) 위의 CARRIER로 옮기고, ROBOT_2는 차종에 따라 JIG_1 혹은 JIG_2에 옮겨 놓는다. 패널이 옮겨지면, ROBOT_3은 이를 다시 LIFTER_FRT(CONVEYOR_2) 위의 CARRIER 위에 옮겨 놓는

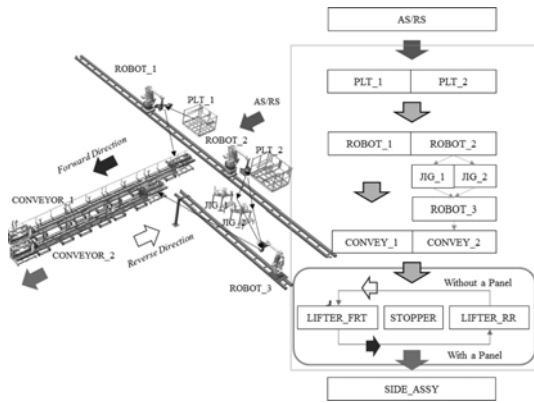


Fig. 3 An automated conveyor line in an automotive industry

다. 그 후, CONVEYOR_1과 CONVEYOR_2는 감지된 패널을 LIFTER_FRT에서 LIFTER_RR (CONVEYOR 뒷 단) 로 이송 시킨다. 이송을 완료한, 각 CARRIER는 빈 상태로 다시 LIFTER_FRT로 복귀하게 된다. 본 연구에서는, 대상 공정 중 이송을 담당하는 CONVEYOR의 제어 시뮬레이션 영역에 대하여 설명하도록 하겠다.

본래 CONVEYOR는 이산적 동작을 갖는 타 설비들과 달리, 모터 제어에 의한 연속적 동작을 수행하는 설비이다. 따라서 기존의 접근 방법과 다른 모델링 방법론을 통해 제어 시뮬레이션에 적용하고자 한다.

Fig. 4는 CONVEYOR의 기계적 설계 정보를 행위에 기준하여 분리한 것이고, Fig. 5는 Stopper의 제어 프로그램과 순차적 상태 변화 과정을 가상 모델로 표현한 것이다. Motor는 CONVEYOR의 연속적인 움직임을 제어하는 동력 구동장치이며, Stopper는 벨트 상의 CARRIER의 진행을 제어하는 장치이고, Frame은 Stopper 및 Motor가 장착되는 곳이다. CONVEYOR의 가상 모델을 사실적으로 작성하기 위해서는 Motor의 작동 및 그와 동

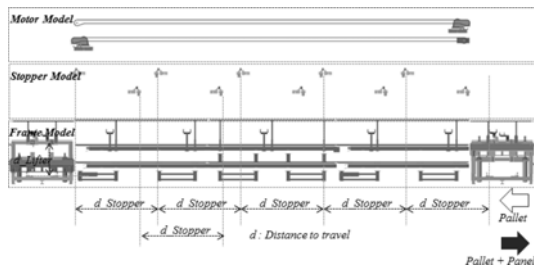
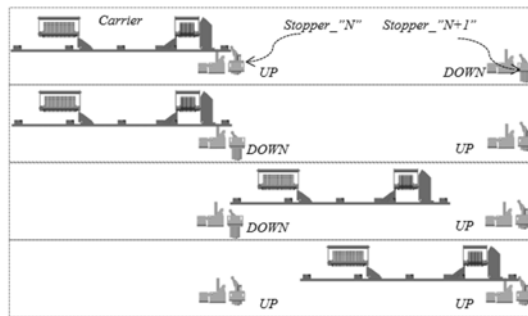


Fig. 4 Mechanical design of an automated conveyor

반되는 벨트 움직임을 연속적으로 표현해야 한다. 하지만 다수의 가상 모델로 구성되는 제어 시뮬레이션 환경에서 모든 물리적 변수를 고려한 가상 모델을 사용하는 것은 매우 어렵다. 이 같은 문제 해결을 위해, 본 연구에서는 CONVEYOR의 기계적 설계 특성 및 전기적 설계 특성을 활용하여 연속적 설비 움직임을 효과적으로 대신할 수 있는 DEVS 기반의 모델링 방법론을 적용 하였다.

Fig. 4에서 알 수 있듯이, CONVEYOR는 각 단 (전진 : 상단, 후진 : 하단)에 N개의 Stopper를 장착 하고 있으며, Stopper 간 거리는 d_Stopper로 일정하게 정해져 있다. 그리고 Stopper 제어 프로그램의 CARRIER 전진 조건을 코드형태로 축약하면 Fig. 5 아래와 같은데, 이는 연속적으로 가동중인 벨트 위의 CARRIER를 제어(정지, 전진) 하기 위한 로직을 담고 있다.

이 두 정보를 이용하여, Motor 및 벨트의 연속적 움직임을 STOPPER의 이산적 모델로 대신하는 모델을 작성할 수 있다. 벨트의 연속움직임을 대신하기 위해, Fig. 6의 ‘Virtual Probe(VP)’ 모델을 새롭게 적용하였는데, 이는 Stopper 하단에서, CARRIER를 이송하는 가상의 물리 모델이다. 실제 모델에서는 CARRIER가 벨트와 함께 움직이지만, 본 모델에서는 이를 가상의 VP가 움직이도록 하였다. VP는 d_Stopper 만큼을 전진(Motion ‘Forward’) 하고 후진(Motion ‘Reverse’)하는 동작을 갖고 있으며, 각 동작을 수행하기 위한 물리적 변수(속도, 가속도)를 실제 Motor로부터 획득하여 만들어졌다. 그리고 전진 동작 전에, 자신의 위치



```

IF (STP(N+1) Has NO CARRIER && STP(N+1) is UP)
{ STP(N) go DOWN; break;}
ELSE IF (STP(N+1) Has a CARRIER && STP(N) is DOWN)
{ STP(N) go UP; break;}
    
```

Fig. 5 Control program and states of an automated conveyor

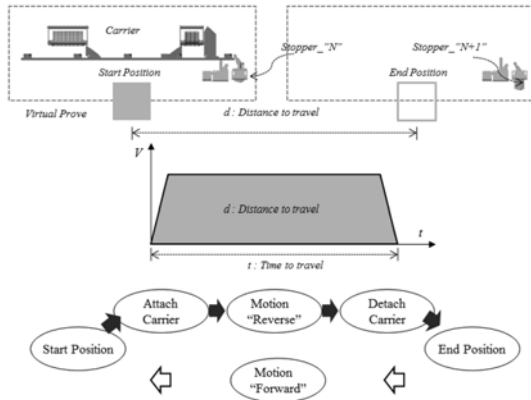


Fig. 6 A virtual probe model to transport a carrier of the conveyor

로부터 가장 가까이 있는 임의의 CARRIER를 탐지해 이를 붙이고(Attach), 동작 수행 이후에 떼어내는(Detach) 이벤트를 수행한다. 각 Stopper 하단에, VP 모델을 장착하면 CARRIER 이송을 위한 CONVEYOR의 물리 모델 준비가 완료된다.

논리 모델은 제어 프로그램의 입, 출력 신호와 연결되는 DEVS의 Atomic 모델을 말하는데, Stopper논리 모델을 형식론의 7가지 요소로 설명하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 M &= \langle X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, t_a \rangle \\
 X &: \{STP_UP, STP_DOWN\}; \\
 S &: \{UP, MOVE_FORWARD, \\
 &\quad DOWN, MOVE_REVERSE\} \\
 Y &: \{STP_UP_DONE, STP_DOWN_DONE\}; \\
 \delta_{int}(MOVE_FORWARD) &= DOWN \\
 \delta_{int}(MOVE_REVERSE) &= UP \\
 \delta_{ext}(UP, STP_UP) &= MOVE_FORWARD \\
 \delta_{ext}(DOWN, STP_DOWN) &= MOVE_REVERSE \\
 \lambda(MOVE_FORWARD) &= STP_DOWN_DONE \\
 \lambda(MOVE_REVERSE) &= STP_UP_DONE \\
 t_a(MOVE_FORWARD) &= TIME_TO_TRABEL_FWD \\
 t_a(MOVE_REVERSE) &= TIME_TO_TRABEL_REV
 \end{aligned}$$

그리고 본 논리 모델의 상태 다이어그램과 VP 동작의 연결 관계를 도식화 하면 Fig. 7과 같다. 그림에서 알 수 있듯이, Stopper가 'UP'에서 'DOWN'으로 전이하는 과정에서 VP가 CARRIER를 Attach하여 d_Stopper 만큼 전진하는 동작('Forward')을 수행한다. 또한, 'DOWN'에서 'UP'으로 전이하는

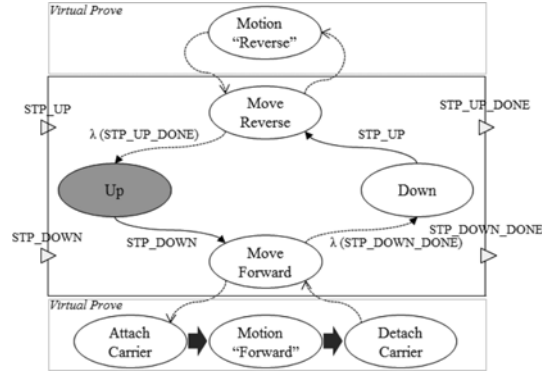


Fig. 7 A DEVS model of a stopper in an automated conveyor

과정에서 VP는 본래 위치로 복귀하는 동작('Reverse')을 수행하게 된다. CONVEYOR를 구성하는 각 Stopper에 VP를 배치하고, CARRIER 감지를 위한 가상 센서를 적용하면, 제어프로그램에 진행에 따른 Stopper 동작으로 CARRIER가 이송되는 효과를 얻을 수 있다. 본 모델링 방법은 AS/RS, Conveyer, Shuttle System, Linear transporter 과 같은 연속적 동작 특성을 갖는 이송 설비에 다양하게 적용될 수 있다.

4. 적용 및 논의

본 연구에서 적용한 Fig. 3의 컨베이어 라인은 해외의 공장에 증설예정인 생산시스템이다. 따라서, 구성 설비들이 현장 레이아웃에 맞게 설치되기 이전에 시스템의 물리적, 전기적 측면의 검증하는 것은 매우 어려운 일이다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 현장 설치 이전에 컨베이어시스템 및 구성 설비들을 가상환경에 구현하고, 시운전을 수행함으로써, 현장에서 발생하는 문제들(차종변경 상황 적용, 에러상황 발생 등)을 해결하기 위해 본 방법론을 적용하였다. 본 제어 시뮬레이션을 구성하는 그래픽 모델은 SIEMENSE사의 Solid Edge®를 사용한 기계적 설계 모델이며, 제어프로그램은 AB사의 RS Emulator® 환경에서 작성하였다. 그리고 두 정보를 연결하는 합성 모델 및 제안 방법론의 적용은 UDMTEK의 PLCStudio® 상에서 구현되었다.

본 연구를 통해 디지털 제조 기반 이송 시스템 제어시뮬레이션을 앞에서 제시된 각 절차에 따라 수행하였다. 이를 통해 제어 시뮬레이션 환경 구

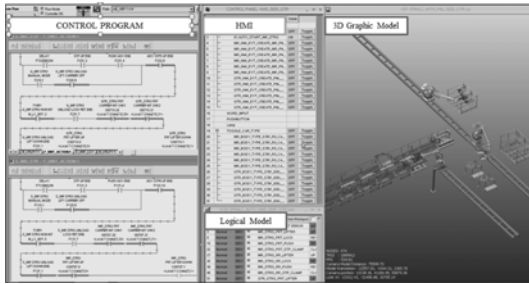


Fig. 8 A control level simulation model of an automated conveyor

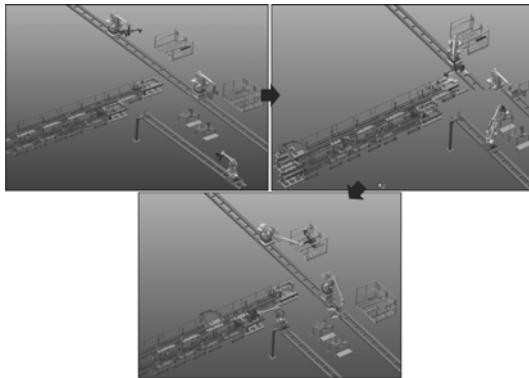


Fig. 9 A digital manufacturing environment for an automated conveyor

축을 위한 데이터 수급 절차 및 적용 방안을 정리할 수 있었으며, 가상환경의 수동 운전을 통해 단순 제어 프로그램 오류를 검증할 수 있었다. 그리고 자동 운전 단계에서는 차종 정보를 반영한 로봇 및 컨베이어 전체 제어 프로그램 검증을 수행할 수 있었으며, 검증 결과를 통해 빠르게 제어 프로그램 수정에 반영할 수 있었다. Fig. 8에 제시된 가상 시운전 환경을 통해 사용자는 현장과 동일한 조건으로 전체 컨베이어 시스템의 시운전 및 검증을 수행할 수 있었다(Fig. 9).

5. 결 론

본 연구는 이송 시스템의 가상 시운전 환경 구축 및 검증을 위한 방법론을 제시하고, 제어 시뮬레이션 적용 방법 및 결과를 말하였다. 시스템 설계부터 시운전까지 과정에서 얻어지는 기계적 설계 정보 및 전기적 설계 정보를 사용하여, 디지털 제조 기술을 기반한 시뮬레이션 환경을 구축할 수 있었다. 본 방법론은 해외 증설 예정인 자동차 공

정의 실제 이송 시스템을 대상으로 적용 하였으며, 그 결과 현장에서 발견 가능한 순차오류(sequence error), 조건오류(condition error), 입력오류(symbol naming error, address error)를 검출 할 수 있었다. 또한, 사용자가 시스템 구축 이전에 공정을 시운전 해봄으로써, 새로운 공정의 이해도 향상 및 조작 훈련 효과를 얻을 수 있었다.

제안하는 방법론은 연속 제어에 의한 이송 체계 시스템을 DEVS 기반 이산 사건 모델로 모델링 하여 적용하였다. 이를 위해 가상 센서 및 기계적 설계 정보의 물리 변수를 적용한 가상 모델 VP(Virtual Probe)을 사용하여 가상환경이 갖는 표현적 한계성을 효과적으로 해결할 수 있었다. 특히, 본 연구에서 제안된 방법을 통해 기존의 상용시뮬레이션 소프트웨어가 갖는 물리적, 논리적 부분의 제한적 정보 표현을 향상시킬 수 있었다. 왜냐하면, 본 연구의 가상 모델은 애니메이션으로의 역할 보다는 컨베이어 시스템 센서에 신호를 직접 전달하기 위한 용도로 사용되었으며, 실제 제어 프로그램과 직접 연동되어 검증할 수 있는 환경을 제시하였기 때문이다. 따라서 본 방법을 통해 구축된 시뮬레이션 모델은 향후 유사 모델(연속 제어에 의한 이송 작업을 수행하는 타 설비의 제어 시뮬레이션 모델) 구축에 있어서 제어 레벨의 가이드라인으로 사용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청(UD110006MD), 국방과학연구소(UD100009DD), 한국연구재단(2011-0026545)의 지원으로 수행 되었습니다.

참고문헌

1. Tempelmeier, H. and Kuhn, H., 1993, Flexible Manufacturing Systems, John Wiley and Sons.
2. Zeo, M. and Twiss, E., 1998, Design of Industrial Automated Systems Via Relay Ladder Logic Programming and Petri Nets, *Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part C: Applications and Reviews*, 28(1), pp. 137-150.
3. Koo, L.-J., Park, S.-C. and Wang, G.-N., 2009, A Study and Application of Methodology for Applying Simulation to Car Body Assembly Line Using Logical Model, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 14(4), pp. 225-233.

4. Schuh, G., Rozenfeld, H., Assmus, D. and Zancul, E., 2008, Process Oriented Framework to Support PLM Implementation, *Computers in Industry*, 59(2-3), pp. 210-218.
5. Freedman, S., 1999, An Overview of Fully Integrated Digital Manufacturing Technology, *Winter Simulation Conference Proceedings*, 1, pp. 281-285.
6. Park, H.T., Wang, G.N. and Park, S.C. 2008, PLC Symbol Naming Rule for Auto Generation of Plant Model in PLC Simulation, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 17(4), pp. 1-9.
7. Choi, M.W., Han, S.T., Seo, J.H., Woo, J.H., Lee, C.J. and Choi, Y.R., 2005, Digital Manufacturing Strategy & Case Study of Automotive General Assembly, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 10(3), pp. 199-209.
8. Ko, M.S., Koo, L.J., Kwak, J.G., Hong, S.H., Wang, G.N. and Park, S.C., 2009, A Study of PLC Simulation for Automobile Panel AS/RS, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 18(3), pp. 1-11.
9. Bae, S.H. and Kiam, Y.M., 2010, A Case Study of Virtual PLC Validation System's Implementation: In Case of An Automobile Trim Line, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 19(2), pp. 9-16.
10. Yang, C.H., Choi, Y.S. and Ha, T.Y., 2003, "Simulation Model for Transport Vehicle on Automated Container Terminal, *Proceeding of the Korean Institute of Industrial Engineers Conference*, pp. 1165-1166.
11. Kim, J.N., Lim, H.J. and Ji, H.S., 2008, LCD Production Using Digital Manufacturing Technology, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference*, pp. 733-740.
12. Shin, H.S., Ko, M.S., Hong, S.H., Park, S.C. and Wang, G.N., 2011, A Template Based Process Modeling Methodology for Control Simulation, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 16(5), pp. 351-360.
13. Noh, S.D. and Park, Y.J., 2004, Material Planning Information Management for Automotive General Assembly Using Digital Factory, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 9(4), pp. 325-333.
14. Park, S.C., Park, C.M. and Wang, G.N., 2008, A PLC Programming Environment Based on a Virtual Plant, *Int. J. Adv. Manufac. Technol.*, 39, pp. 1262-1270.
15. Park, C.M., Seong, G.Y., Park, S.C., Wang, G.N. and Han, K.H., 2008, Simulation based Control Program Verification in Automobile Industry, *The International Conference on Modeling Identification and Control*, Innsbruck, Austria.
16. Cho, K.-H., Lee, J.-J. and Kim, Y.-J., 1998, Performance Evaluation of Conveyor System at the Postal Distribution Cantor Using AutoMod, *Proceeding of the Korea Society for Simulation Conference*, pp. 174-177.



고민석

2007년 아주대학교 산업정보시스템공학부 학사
 2007년~현재 아주대학교 산업공학과 대학원 석·박사 통합 과정
 관심분야: Digital Manufacturing System, Manufacturing System Modeling & Simulation, Programmable Logic Controller (PLC), CAD/CAM, FMS, Factory Automation



박상철

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