

OHT 제어기 검증을 위한 가상환경 HIL 시물레이션

이관우 · 이용근 · 박상철[†]

Virtual Environment Hardware-In-the-Loop Simulation for Verification of OHT Controller

Kwan Woo Lee · Woong Geun Lee · Sang Chul Park[†]

ABSTRACT

This paper presents a HILS(Hardware-In-the-Loop Simulation) approach for the verification of the OHT (Overhead Hoist Transport) controller in a semiconductor FAB. Since hundreds of OHTs can run simultaneously on the OHT network of a FAB, the full verification of the OHT controller is very essential to guarantee the stableness of the material handling system. The controller needs to fully consider not only normal situations but also abnormal situations that are difficult to predict. For the verification of the controller, we propose a HILS approach using a virtual environment including OHTs on a rail network, which can generate abnormal situations. The proposed HILS approach has been implemented and tested with various examples.

Key words : Hardware-In-the-Loop Simulation, OHT, FAB, Controller

요약

본 논문에서는 반도체 FAB에서의 OHT의 제어기를 검증하는 HIL(Hardware-In-the-Loop) 시물레이션 방법론을 제안한다. 반도체 FAB의 OHT 네트워크에는 수많은 OHT들이 동시에 운영될 수 있으므로 OHT 제어기에 대한 완벽한 검증은 물류 설비 안정성을 보장하는 데 매우 중요하다. 제어기는 정상적인 상황에 대해서 뿐 아니라 예측하기 힘든 비정상적인 상황에 대해서도 고려하여 설계되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 제어기의 검증을 위해 비정상 상황을 생성할 수 있는 레일 네트워크와 OHT를 포함한 가상 환경을 사용하는 HIL 시물레이션 방법론을 제안한다. 제안되는 HIL 시물레이션 방법은 구현되었고, 다양한 예제를 통해 테스트 되었다.

주요어 : 하드웨어포함시물레이션, OHT, FAB, 제어기

1. 서론

반도체 산업의 발전은 크게 프로세스(Process)의 미세화와 웨이퍼(Wafer)의 대구경화로 이루어져 왔다. 200 mm 구경의 웨이퍼에서 300mm 구경 웨이퍼로 발전하면서, FAB 성능은 비약적으로 향상되었다. 한편으로는

웨이퍼들을 담아 옮기는 용기인 FOUP(Front Opening Unified Pod)의 무게도 증가하여, 작업자가 반복적으로 들어 나르는 권장 무게를 넘어서게 되었다. 작업자의 건강과 FAB의 생산성 향상을 위해 자동화 물류설비(AMHS, Automated Material Handling System)의 중요성이 더욱 증대되었다(Foster, 2001).

FAB의 물류는 높은 설비 집적도, 충전, 동 간 이동하는 물류 등이 특징으로 가장 복잡한 제조 공정 물류 중 하나이다. 이러한 FAB의 물류를 담당하는 자동화 물류 설비 중 큰 비중을 차지하고 있는 OHT(Overhead Hoist Transport) 시스템은, FAB에서 천장에 설치된 레일 위를 주행하며 FOUP, FOSB(Front Opening Shipping Box) 들을 이송하는 설비이다. OHT는 길게는 수십 킬로미터

* 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20181520102740).

Received: 22 June 2019, Revised: 22 November 2019,

Accepted: 9 December 2019

[†] Corresponding Author: Sang Chul Park

E-mail: scpark@ajou.ac.kr

Ajou University Industrial Engineering

에 달하는 레일 위에서, 많게는 수백 대의 다른 OHT들과 상호작용하며 작업을 진행한다. FAB의 상위 단계 제어 시스템으로부터 주어지는 이송 명령에 대해서 OHT는 스스로 주변 환경을 인식하고 주행하여 수행할 수 있어야 한다. 이러한 상황에서 OHT는 내장되는 제어기에 통제 받아 행동하므로, 제어기는 레일에서의 합류, 분기, 회전 상황에서 타 장치와의 충돌, 설비와의 통신 중 오류로 인한 아적재(Transfer) 실패 등 주변 환경에서부터 발생할 수 있는 다양한 상황에 대해서 고려하며 설계된다.

HIL(Hardware-In-the-Loop) 시뮬레이션은 기기를 구성하고 있는 모든 센서(Sensor), 프로세스(Process)와 액추에이터(Actuator)들에 대응하는 시뮬레이션 모델들을 구현하고 제어기가 실제 기기에 장착된 것으로 인지하고 동작하도록 하여, 제어기를 검증하는 방식이다(M. Gomez, 2001; R. Isermann J. Schaffnit and S. Sinsel., 1999). HIL 시뮬레이션은 다양한 산업 분야에서 제어기와 하드웨어의 통합 검사 방법으로써 적용, 연구되고 있으며 자동차 산업에서는 높은 안전성을 요구하는 제품의 소프트웨어를 개발하는 데 있어서 HIL 시뮬레이션을 적극적으로 권장하고 있다(ISO 26262 - Part 6, 2011). 대표적으로 자동차의 ECU(Electronic Control Unit)를 효율적으로 검증하기 위한 여러 연구가 진행되고 있다(dSpace, 2013; Ham W.K., Ko M.S., Park S.C., 2017). 또한, 무인 비행기와 같이 무인으로 운영되는 시스템에 대해서, 제어 시스템의 안정성을 위해 검증하는 방법으로 연구되고 있다(Byun J.K., Hur G.B., Lee K.H., Suk J.H. 2016; Gans, N.R., Dixon, W.E., Lind, R., Kurdila, A., 2009).

기존의 OHT 제어기의 검사 방법은 단위기능 테스트로 진행된다. 단위기능 테스트는 제어기를 검사 모드로 설정한 후, 개별 기능에 대해서 특정 입력 신호를 주었을 때의 출력 신호를 확인하여, 제어기의 정상반응 여부를 확인하는 방식이다. 이 방식은 OHT 내부 신호 조합에 따라 발생할 수 있는 이상 상황들에 대해 검출하고 검증할 수 있지만, 레일 위에서 다른 구성 요소들과의 상호작용 속에서 나타나는 이상 상황에 대해서는 예측, 검증하기 어렵다.

따라서 본 연구에는 HIL 시뮬레이션을 이용하여 제어기를 검증하는 방법을 제안한다. 실제 제어기의 제어를 받는 가상의 OHT가 가상의 레일 네트워크를 주행하며, 장애물과 다른 가상 OHT들, 저장 설비들과 상호 작용하며 발생하는 이상 상황에 대해서 실험될 수 있다. 기존에 진행되던 단위기능 테스트로는 확인해 볼 수 없는 영역까지 테스트해볼 수 있다. 이를 통해 제품 개발의 사이클

에서 하드웨어가 생산되기 이전에 제어 소프트웨어를 제작, 검증하는 동시 공학(Concurrent Engineering)을 가능케한다. 결과적으로 제품 개발 사이클을 단축해 시간 및 비용을 단축할 수 있다(Lee, C.G., Park S.C., 2014).

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제어 소프트웨어를 검증하는 방법으로 사용된 HIL 시뮬레이션에 대해 소개한다. 3장에서는 시뮬레이션을 위해 구현된 OHT 모델에 대해 소개하고 4장에서는 OHT모델이 주행하기 위해 레일 네트워크 모델들에 대해 소개한다. 5장에서는 구현된 시뮬레이터와 모델을 이용하여 HIL 시뮬레이션을 진행한 결과를 소개하고 6장에서 결론을 맺는다.

2. HIL(Hardware-In-the-Loop) 시뮬레이션

2.1 HIL 시뮬레이션 개요

HIL 시뮬레이션은 실시간 시뮬레이션의 한 종류로서, 시스템을 구성하는 하나 또는 여러 개의 실제 컴포넌트(Component)가 시뮬레이터 안에 모사된 컴포넌트들과 실시간으로 상호작용하며 시뮬레이션하는 방식이다. 이는 제어기를 검증하기 위해서 실제 제어기와 실제 대상 시스템을 이용하여 검증을 진행하는 실제 커미셔닝(Real Commissioning)방법과는 달리 실제 제어기와 가상의 시스템을 이용하므로 가상 커미셔닝(Virtual Commissioning)이라고도 한다(Lee, CG and Park SC., 2014). 최근에는 제어 분야를 검증하는 방법으로써 주목받고 있으며, 자동차, 항공, 제조시스템에서 적용되고 있다(Ham W.K., Ko M.S., Park S.C., 2017; Byun J.K., Hur G.B., Lee K.H., Suk J.H., 2016; Gans, N.R., Dixon, W.E., Lind, R., Kurdila, A., 2009).

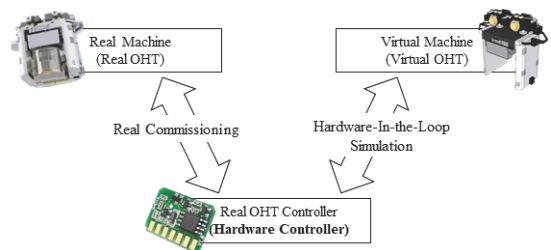


Fig. 1. Real Commissioning & HILS

2.2 HIL 시뮬레이션 진행 절차

본 연구에서 OHT의 제어기를 검증하기 위한 시뮬레이션 환경의 구현 절차는 Fig. 2와 같다. 첫 번째로, 가상

OHT 모델 구현을 위해서 제일 먼저 OHT의 스펙(Spec)과 행동 임무(Task)에 대하여 명확하게 정의한다(S1). 이후, 스펙과 임무를 토대로 물리적, 논리적 모델(Physical, Logical Model)을 구현 한다(S2). 물리적 모델은 가상 환경 속에서 제어기의 명령에 따라 가,감속 작업을 진행하는 서보 모터(Servo Motor) 모델에 대한 동역학 모델과 OHT와 장애물과의 충돌이나, OHT의 핸드(Hand) 유닛이 FOUP을 집는 과정과 같은 행동들을 모사하기 위한 충돌(Collision) 모델을 구현한다. OHT의 구성요소들에 대한 논리적 모델은 제어기가 각자에게 전달하는 전기적 신호를 해석하고 임무를 수행하도록 한다. 또한, 실시간으로 이에 대한 응답을 전기적 신호로 회신한다. 이후, 이 두 가지 형식의 모델을 합쳐 가상 OHT 모델을 구현한다.

다음으로는 가상 OHT모델이 실제 제어기와 기계가 사용하는 통신방식과 같은 방식으로 통신하며 제어를 받을 수 있도록 실제와 같은 통신체계를 이용하여 연동시킨다(S4). 이때, 제어 소프트웨어는 가상 모델과 같은 컴퓨터에 있어서는 안 되며 별도의 제어 하드웨어에 내장되어야 한다(M. Gomez., 2001). 그 후 가상의 OHT가 주행하며 여러 가지 상황에 대해서 테스트해볼 수 있는 가상 FAB 환경 모델(Virtual FAB Environment Model)을 구현한다(S5). 가상의 레일 네트워크 환경 속에는, OHT가 주행하기 위한 레일(Rail)과 FOUP을 아적재하기 위한 공정, 저장 설비, 충돌을 방지하기 위한 장치 등이 존재한다.

구현이 완료된 후 실제 제어기와 OHT 모델, 가상의 FAB 환경 모델을 이용하여 OHT 제어기의 로직을 테스트하고 검증할 수 있다(S6).

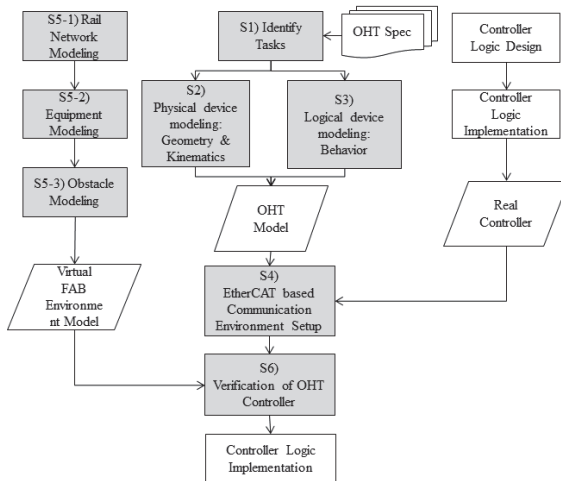


Fig. 2. Procedure of OHT HILS Environment Build

3. OHT 모델 구현

3.1 OHT(Overhead Hoist Transport)

본 연구에서는 반도체 물류 자동화 장비 중 하나인 OHT를 대상으로 제어기를 검증하기 위한 시뮬레이션을 진행하였다. OHT는 레일을 달리는 일종의 컨베이어 시스템으로서, 이는 일방향성으로 주행하며, 배터리가 필요 없다. Fab에서의 이적재 작업을 수행하면서 높은 효율성과 안정성을 제공하는 기기이다. 이는 반도체 Fab에서 공정 설비들과 스톡커(Stocker), STB(Side Track Buffer), UTB(Under Track Buffer)와 같은 저장 장치들 사이의 이송을 제공한다(M. Brain, R. Gould, U. Kaempf and B. Wehrung, 1997).

OHT는 크게 전 후방 주행(Driving), 슬라이드(Slide), 호이스트(Hoist), 핸드(Hand), 셔터(Shutter), 조향(Steer) 유닛으로 구성되어 있으며, 대응하는 액추에이터로는 주행 유닛에서 OHT의 움직임의 1, 2축, 슬라이드에서 3축, 호이스트에서 4축을 담당하는 서보 드라이브가 각각 존재한다(Fig. 3.a). 이들은 제어기의 제어를 토대로 가, 감속하여 움직이게 된다. 셔터(Fig. 3.b)와 핸드(Fig. 3.c), 조향 유닛(Fig. 3.d)은 스텝핑 모터(Stepping Motor)를 작동하여 움직인다(Lee, S.H., Kim, J.K., Sung, H.K., 2002).

전 후방 주행 유닛은 레일에서 OHT의 주행에 관련된 임무를 수행하며, 각각 조향(Steer) 유닛이 있다. 경로 정보에 따라서 조향 유닛을 조종하여 분기에서 OHT의 진행 방향을 결정하게 된다. 또한, 레일 네트워크에 중간중간 설치된 바코드 정보를 읽어 제어기에 전달하고 이를 통해서 제어기는 OHT 주행 상황에 대해서 갱신한다. 슬라이드 유닛과 호이스트 유닛은 스테이션(Station)에 도착하여 아적재 작업을 진행할 때, 각각의 스테이션에 대한 위치 정보를 토대로 제어를 받게 된다. 핸드 유닛은 호이스트에 의하여 스테이션 아적재 위치까지 이동하게 되고, FOUP을 놓거나 잡는다.

OHT에는 크게 주어지는 상황에 대해 대처하기 위해, 대차 감지(OHT Detect), 장애물 감지(Obstacle Detect), 룩 다운(Look Down)센서가 있다. 대차 감지 센서는 레일에서 전방에 다른 OHT가 있는지 감지하여 OHT들이 충돌하는 것을 예방한다. 장애물 센서는 전방의 다른 장애물이 있는지 감지하는 임무를 수행하며, 룩 다운 센서는 이적재 작업 수행 시 핸드의 움직임 경로에 다른 장애물이 있는지 감지하는 임무를 수행한다.

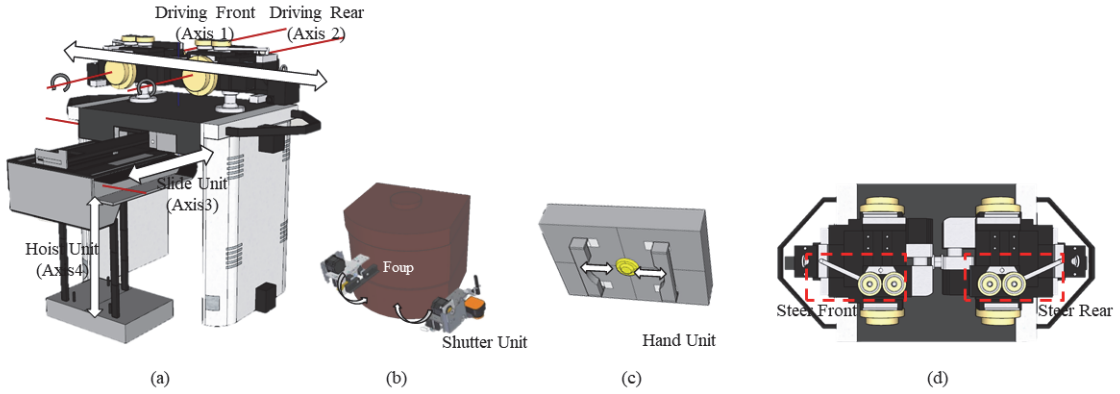


Fig. 3. Actuators of OHT

3.2 물리적 모델링(Physical Modeling)

가상 OHT의 모델의 물리적 모델은 크게 충돌 모델(Collision Model)과 OHT의 행동을 모사하는 동역학 모델(Dynamics Model)로 구현되어 있다. 충돌 모델은 3D 충돌 알고리즘을 사용하여 장애물이나 다른 OHT와 충돌하는 상황을 만들어 낼 수 있도록 하였다. Fig. 4에서는 실제 제어기의 제어를 받아 움직이는 OHT 모델(흰색)과 더미 OHT 모델(흑색)이 충돌한 상황의 모습이다.

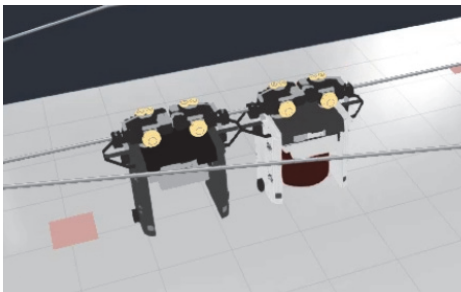


Fig. 4. Collision with Dummy OHT(Black)

OHT의 동역학 모델을 구현하기 위해서 내장되는 서보 드라이브와 서보 모터의 스펙에 대해서 정의해야 한다. 실제 OHT의 주행은 AC 서보 모터와 서보 팩, 리듀서와 타이밍 벨트를 이용하여 진행된다. OHT의 동역학 모델은 제어기에서부터 전달되는 위치, 속도 또는 토크(Torque) 제어 값과 함께 트리거(Trigger)를 받으면 가감속 값을 도출해낸다. 주행에 관한 스펙은 Table. 1과 같다. 주행 가능 속력은 직선 레일과 곡선 레일에서 다르며, 실제로는 레일 별로 설정된 최대 주행 가능 속도가 다르다.

Table 1. OHT Driving Spec

	Straight	Curve
Velocity	3.5m/s	1.5m/s
Acceleration	2.0m/s ²	2.0m/s ²
Deceleration	3.0m/s ²	3.0m/s ²

3.3 논리적 모델링(Logical Modeling)

OHT의 행동을 모사하기 위해 구현한 논리적 모델로는, 앞서 설명한 센서들과, FOUc을 들어 올리기 위해 붙잡는 핸드 유닛, 레일 위 분기에서 방향을 결정하기 위한 조향 유닛, 주행 중 FOUc이 흔들리는 것과 떨어트리는 것을 방지하기 위한 셔터 유닛이 있다. 각각의 모델에 대하여, 논리적 행동 절차를 DEVS(Discrete Event System) 표현론을 이용하여 표현하였다. Fig. 5에서는 핸드 유닛에 대해 DEVS의 커플드 모델(Coupled Model)로서 도식화한 모습이다.

이 모델에서는 제어기로부터 핸드를 열리는(Hand_Open) 신호가 핸드 유닛에 내장된 서브 보드에 주어졌을 때, 핸드가 닫힌 상태에서부터 움직이기 시작하므로, 기존에 켜져 있던 닫힘 센서(Close Sensor)는 꺼지게 되고, 약 1초의 시간을 걸쳐 움직여서 열리게 된다. 이후, 열림 센서(Open Sensor)가 켜지게 되고, 이러한 신호를 다시 제어기로 전달하게 된다.

3.4 제어기와의 통신 구현

HIL 시뮬레이션 진행을 위해서는 실제 OHT 제어기와 시뮬레이터가 실제 OHT 제어기와 OHT 구성 하드웨어들이 통신하는 방식과 같은 방식으로 통신할 수 있도록 하여 제어기가 실제 하드웨어와 통신하는 것처럼 인

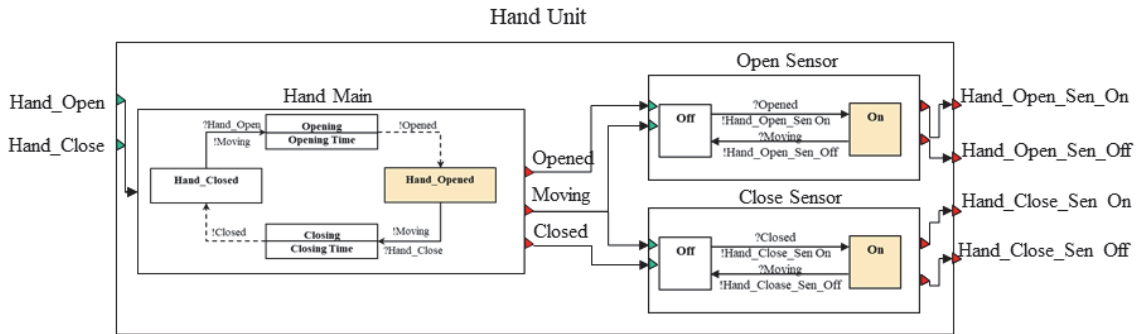


Fig. 5. DEVS Coupled Model of Hand Unit

지하고 동작하게 해야 한다. 본 연구에서 검증한 OHT의 제어기는 구성 요소들과의 통신 프로토콜로 EtherCAT 통신을 이용하였다. EtherCAT은 IEC 61158 규약으로 표준화되었으며, 실시간성을 보장한다(EtherCAT Technology Group). EtherCAT 통신은 EtherCAT 마스터(Master)가 주기적으로 이더넷 프레임들 자신의 슬레이브(Slave)들에 보내고 회신한다. 각각의 슬레이브들은 자신에 해당하는 주소를 읽고, 작성한다. 본 연구에서는 시뮬레이터가 OHT의 EtherCAT 마스터의 슬레이브가 되도록 하여, 제어기와 통신할 수 있도록 구현하였다.

큰 OHT들과 함께 주행하며 각자의 작업을 수행하게 된다. 이때 발생할 수 있는 예측 못 한 다양한 이상 상황을 모사하기 위해서 실제 OHT들이 주행하는 것과 흡사한 레일 네트워크 환경을 구성할 필요가 있다. 본 연구에서는 SEMI(Semiconductor Equipment and Materials International)에서 지정한 표준에 맞게 설계된 테스트 레일의 데이터를 사용하여 가상 환경 속의 레일 네트워크를 구현하였다. 레일 네트워크의 구성요소로는 레일을 구성하는 각각의 노드(Node)와 링크(Link), OHT 위치를 보정하기 위한 바코드(Bar Code)와 아적재 작업을 수행하는 스테이션, 합류지점에서의 충돌을 방지하기 위한 CID(anti-Collision Interlock Device)가 있다.

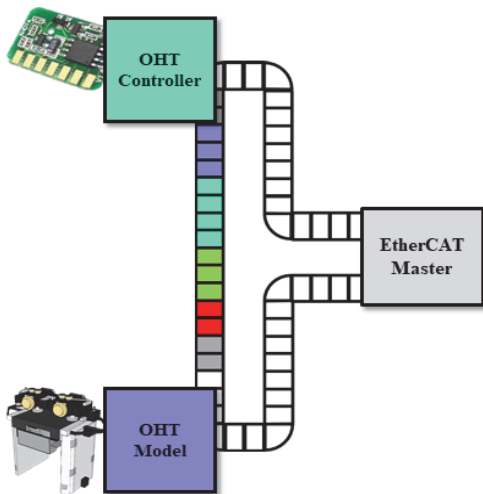


Fig. 6. Virtual OHT Model as a EtherCAT Slave

4. 가상 네트워크 환경 구축

4.1 레일 네트워크(Rail Network)

OHT는 수십 킬로미터의 레일 위에서 수백대의 다

4.1.1 레일(Rail)

OHT가 주행하는 레일은 각각의 노드를 연결하는 링크의 형태로 구성되어 있으며, 노드는 Table 2와 같이 각각의 ID와 3차원 좌표 위치 정보를 가지고, 링크는 Table 3과 같이 시작 노드와 끝나는 노드의 ID에 대한 정보와 주행 가능한 최대 속력에 대한 정보, 링크 길이를 가진다. 한 개의 노드에는 최대 2개의 인-링크(In-link)가 존재하여 합류부를 형성할 수 있고, 최대 2개의 아웃-링크(Out-link)가 존재하여 분기를 형성할 수도 있다. OHT가 주행할 때의 경로 정보에는 이러한 노드 링크 정보를 토대로 진행해야 하는 노드 정보 이외에도 각각의 지점에서

Table 2. Node Data Example

Node ID	X	Y	Z
001	11600	1700	200
002	11800	1650	200
003	12200	1700	200

Table 3. Link Data Example

Link ID	From Node	To Node	IsLeft	Speed	Distance
link1_2	001	002	1	700	206.3
link1_3	001	003	0	1500	600

조향 유닛의 방향을 어떻게 설정해야 하는지에 대한 정보(IsLeft)를 포함하고 있다.

4.1.2 스테이션(Station)

레일 네트워크에서의 스테이션은 OHT가 FOUF을 이적재 하는 설비, 스토커, STB, UTB들에 대해서 통합하여 표현된 것이다. OHT의 제어기는 이들에 대해 통합적으로 스테이션이라는 이름으로 정보를 가지고 있으며 각각에 대한 위치 정보를 가지고 있다. 이들에 대한 정보는 Table 4, 5와 같다. OHT는 스테이션의 위치까지 레일 위에서 주행한 뒤, 해당 스테이션과의 통신 작업을 통해 이적재 작업을 준비한다. 이후 제어기는 스테이션의 위치 정보(Teach Data)에 맞추어 슬라이드, 호이스트 유닛을 움직이게 하여 이적재 작업을 수행 완료한다. 구현된 테스트 맵의 모습은 Fig. 7.a와 같다.

Table 4. Station Data Example

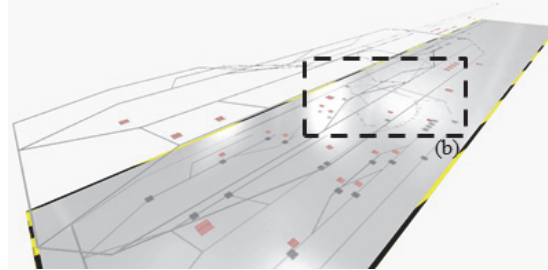
Station ID	From Node	To Node	Distance	Port Type
1001	001	003	550	STK
1002	003	004	1796	LSTB

Table 5. Station Teach Data Example

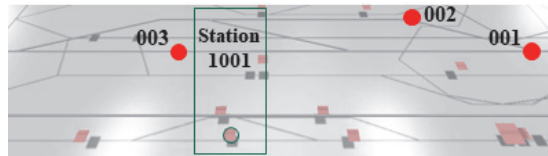
Station ID	Port Type	Hoist	Shift	Rotate
1001	STK	3001	-24	STK
1002	LSTB	114	-426	LSTB

4.2 장애물(Obstacle, OtherOHT)

본 연구에서 구현한 가상 레일 네트워크 안에서 사용하는 OHT에게 이상 상황을 부여하고 이들이 정상적으로 대응하는지 검증해야 한다. 이때, 이상 상황을 부여하는 임무를 수행하기 위해서 두 가지 종류의 장애물 모델에 대해서 설계하고 모델링하였다. 첫 번째로 장애물(Obstacle) 모델은 가상 환경 속에서 레일의 위치와 상관 없이 3차원 좌표값을 기반으로 위치, 움직이며, OHT와



(a)



(b)

Fig. 7. Virtual OHT Rail Network: (a) Sample Network, (b) Example Area

충돌하거나 이적재 작업을 방해하는 등의 상황을 모사하기 위한 모델이다. 두 번째로 OtherOHT 모델은 제어기의 제어를 받지 않지만 레일 네트워크를 주행하는 가상의 OHT모델을 말한다. 이들은 실제 OHT와 같은 주행 스펙을 가지고 있으며 실제 제어기의 제어를 받는 OHT 모델보다 추상화되어 있다. 설정에 따라 계속해서 계속해서 레일 네트워크를 주행할 수 있으며, 레일의 특정 위치에 정지해 있을 수도 있다. 실제 OHT는 다른 OHT들과 같은 레일 위를 주행하게 되는데, 이 과정에서 발생할 수 있는 여러 상황을 모사하는 임무를 수행한다. 이들은 레일 네트워크를 주행하다가 갑자기 정지하거나, 합류부에 이상 진입하는 등의 레일 네트워크에서 OHT가 타 OHT와 상호작용하며 발생할 수 있는 이상 상황에 대해 모사한다.

5. 시뮬레이션 결과

본 연구에서 시뮬레이터는 C#언어로 구현하였으며 시각화 엔진으로는 NeoAxis를 사용하였다. 사용자는 OHT의 스펙을 변경하여 가상의 OHT 모델에게 반영할 수 있으며 가상의 OHT 모델과 EtherCAT 통신방식을 이용하여 통신하는 실제 제어기를 통해 제어할 수 있다. 가상의 OHT 모델은 가상환경 속의 다른 모델들과 상호작용하며 실험결과를 사용자에게 시각화하여 보여준다.

제어기 테스트는 크게 정상 영역과 비정상 영역 두 가

지로 구성된다. 정상 영역의 테스트는 제어기를 이용하여 OHT모델에게 명령을 내리고, OHT모델이 명령에 대해서 정상적인 응답을 보낼 때, 제어기가 정상적으로 다음 명령에 대해서 순차적으로 내려줄 수 있는지에 대한 검증이다.

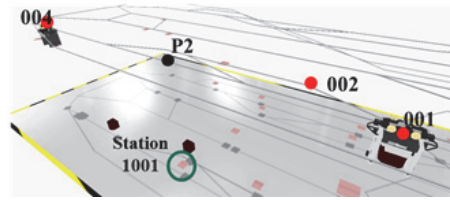
비정상 영역에 대한 테스트는 사용자가 OHT모델에게 이상 상황(Abnormal Case)을 부여하고, 제어기를 이용하여 OHT모델을 제어했을 때, OHT모델은 이상 상황에 대해서 감지하거나 혹은 감지하지 못하여 특정 상황을 감지하여 제어기에 알리게 되고, 제어기는 이에 대해 대응할 수 있는지 검증하는 것이다.

5.1 정상 영역 테스트(Normal Test Case)

일반적으로 정상 영역에 대한 테스트는 명시화되어있다. OHT의 주된 임무에 대해 테스트 시나리오(Test Scenario)들이 정의가 되어 있으며, 실제 설비를 이용하여 제어 소프트웨어가 새로 개발되거나 업데이트될 때마다 테스트해야 한다. 본 논문에서 소개할 하나의 정상영역 테스트 시나리오는 Fig. 8.와 같다. 첫 번째로, OHT 제어기는 001 노드에 있는 OHT를 1001번 스테이션에 접근하기 위한 레일 위의 위치(P2)를 향해 주행시킨다(Fig. 8. b). P2에 도착하면, OHT 모델을 제어기와 스테이션이 통신작업을 진행하고, 적재(Load)작업을 진행한다(Fig. 8. c). 적재작업을 끝마친 OHT모델은 다음 스테이션 위치로 주행하던 도중 레일 위에 정지해 있는 OtherOHT를 감지하고 멈춰 선다(Fig. 8. d).

5.2 비정상 영역 테스트(Abnormal Test Case)

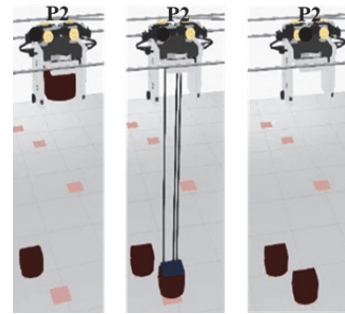
비정상 영역에 대한 테스트는 대체로 명시화되어있지 않다. 예측 가능한 예외상황에 대해서는 제어기 개발자들이 대응 로직을 구성하지만, OHT가 레일 네트워크에서 다른 개체들과의 상호작용을 통해 발생시키는 수많은 예외상황에 대해서는 예측하기 힘들다. 이러한 영역에 대해서는 제어기의 제어를 받는 OHT 모델과 OtherOHT 모델, 장애물 모델들은 지속해서 레일 네트워크 위에서 작업하게 함으로써 발견할 수 있다. 또한, 사용자가 특정 센서나 유닛, 액추에이터를 작동하지 않은 상태로 만들어 놓은 상태로 제어기를 통해 제어하도록 하여 이가 물류 네트워크에 미치게 될 영향과 이에 대한 제어기의 반응도 검증할 수 있다. 다음은 본 연구에서 구현 시뮬레이터를 이용해 앞서 설명한 장애물 모델을 개입시켜 검증을 진행한 두 가지의 비정상 영역 테스트 사례를 소개한다.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 8. Normal Test Case (a) Overview of test case, (b) Driving to P2, (c) Transfer operation at Station 1001 (d) Detect OtherOHT and Stop

5.2.1 비정상 영역 테스트 사례 1: 룩다운 센서의 작동 검증

첫 번째는 OHT가 위의 정상 영역 테스트 때와 같이 스테이션 1001에서 적재 작업을 하도록 명령받는다. 이후 제어기가 스테이션과 적재 작업을 위한 통신작업을 진행하던 도중 장애물이 호이스트의 이동 경로에 들어

온 상황이다. 이때, 아직재 작업의 경로를 관측하고 있던 룩다운 센서가 이를 감지하고 제어기에 신호를 전달한다(Fig. 9. a). 이어서 제어기는 OHT가 적재작업을 중단하도록 명령을 내려 작업이 중단된 것을 관찰하였다(Fig. 9. b).

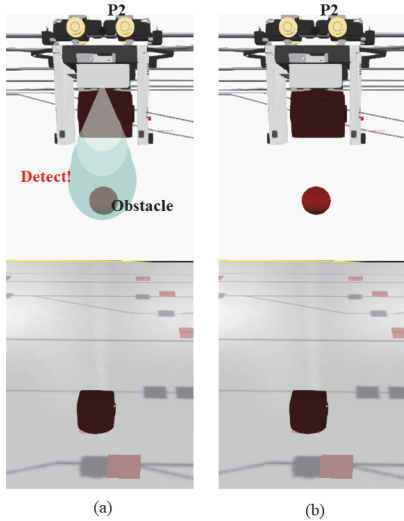


Fig. 9. Abnormal Test Case 1: Verification of the Lookdown Sensor Operation (a) Lookdown Sensor Detect Obstacle, (b) 'Load' Work Cancel

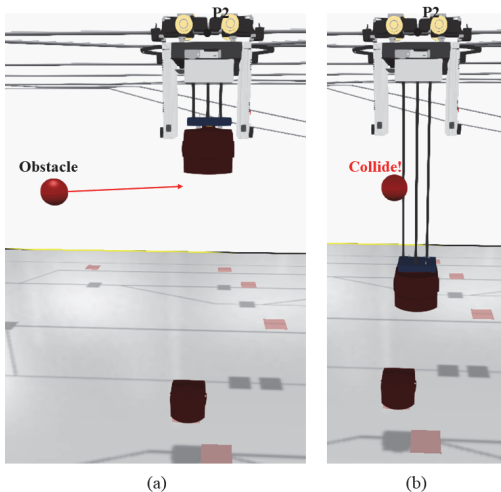


Fig. 10. Abnormal Test Case 2: Verification of the situation in the Hoist Belt Collision (a) Obstacle Comming In (b) Hoist Belt and Obstacle Collision

5.2.2 비정상 영역 테스트 사례 2: 호이스트 벨트 충돌 상황 검증

두 번째는 OHT가 스테이션 1001과 통신작업을 완료하고 적재 작업을 시작하여, 호이스트 유닛을 스테이션의 티칭 포인트로 이동하는 중 장애물 모델이 이동하여(Fig. 10. a) 호이스트의 벨트와 충돌한다(Fig. 10. b). 호이스트의 벨트에 충격이 가해진 OHT는 호이스트 벨트가 절단되거나 문제가 생겼을 경우 끄도록(Off) 되어있는 Hoist_Belt 신호를 끈다. Hoist_Belt를 신호를 전달받지 못한 제어기는 호이스트 벨트에 문제가 생겼음을 파악하고, Hoist_Alarm 센서를 켜서 적재 작업을 중단하였다.

6. 결론

최근 반도체 시장의 수요 증가로, 공급업체들의 대대적인 설비 확장이 이어져 오고 있다. 또한, 반도체 웨이퍼의 대구경화로 인해 자동화 물류 장비의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 한 물류 장비의 고장은 병목을 생성하는 직접적인 원인이 되게 되고, 이는 곧 비용으로 이어진다. 따라서 OHT와 같은 자동화 물류 장비의 제어 소프트웨어는 충분히 검증될 필요가 있다. 기존의 방법보다 시간과 비용을 아낄 수 있는 HIL 시뮬레이션은 효율적이다. 본 연구에서 제안한 OHT 운영 환경에 대한 가상환경 모델링과 함께 수행되는 HIL 시뮬레이션을 통해 단일 OHT의 제어에서의 검증뿐만 아니라 대상 OHT와 주변 환경요인의 상호작용 때문에 발생하는 상황까지 검증할 수 있었다. 이를 통해 신형 OHT를 개발하는 과정에서 실제 하드웨어 프로토타입이 완성되기 전부터 OHT의 제어기를 검증하여 전체적인 개발 프로세스에서의 시간을 단축할 수 있었으며, 실제 하드웨어를 이용한 검증에 비하여 비용을 절감할 수 있었다. 더 나아가 다수의 OHT 혹은 스토커 같은 OHT와 상호작용하는 설비들도 제어기를 연동하여 가상환경 속에 모델링하고 연동한다면 다양한 장비를 병렬적으로 검증할 수 있을 것으로 기대된다.

References

Byun J.K., Hur G.B., Lee K.H., Suk J.H. (2016) "A Study on UAV Flight Control System HILS Test Environment", Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, 44(4), pp.316-323.
 dSPACE. (2013) dSPACE Hardware-in-the-Loop Systems, www.dspace.com

- EtherCAT Technology Group, EtherCAT - the Ethernet Fieldbus, <https://www.ethercat.org/default.htm>
- Foster, L. (2001) "300mm Wafer Factory Automation and the Logistics Infrastructure Challenge", FUTURE FAB, 11
- Gans, N. R., Dixon, W. E., Lind, R., Kurdila, A. (2009) "A hardware in the loop simulation platform for vision-based control unmanned air vehicles", *Mechatronics*, 19, pp.1043-1056.
- Ham W.K., Ko M.S., Park S.C. (2017) "A framework for simulation-base engine-control unit inspection in manufacturing phase", *Control Engineering Practice*, 59, pp.137-148
- ISO 26262-Part 6 (2011) "road vehicles - Functional Safety - Part 6: Product development at the software level" International Standard Organization, Geneva, Switzerland
- M. Brain, R. Gould, U. Kaempf, B. Wehrung (1997) "Emerging needs for continuous flow FOUF transport", *IEEE/CPMTElectronics Manufacturing Technology Symposium*, pp.76-82.
- M. Gomez. (2001) Hardware-in-the-Loop Simulation. Embedded, www.embedded.com
- Lee, C.G., Park, S.C. (2014) "Survey on the virtual commissioning of manufacturing systems", *Journal of Computational Design and Engineering*, Vol. 1, No.3, pp.213-222
- Park, S.C., Chang, M.H. (2012) "Hardware-in-the-loop simulation for a production system", *International Journal of Production Research*, Vol.50, No.8.
- R. Isermann, J. Schaffnit and S. Sinsel (1999) "Hardware-in-the-loop simulation for the design and testing of engine-control systems", *Control Engineering Practice* 7. pp.643-653.
- R. Drath, P. Weber and N. Mauser (2008) "An evolutionary approach for the industrial introduction of virtual commissioning", 2008 IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Hamburg, pp.5-8.
- Seo, J.C., Chung, Y.H., Kim, B.H., Park, S.C. (2016) "Backward capacity-filtering for electronic Fabs", *Production Planning & Control*, 27(11), pp.925-933.
- Lee, S.H., Kim, J.K., Sung, H.K. (2002) "OHT System for 300mm wafer cassette transfer", *ICCAS 2018*, pp.2028-2029.
- Zeigler B.P. (1984) "Multifaceted modeling and discrete event simulation", New York(NY): Academic Press Inc., pp.372.



이 관 우 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-1370-2904> / cool8790@ajou.ac.kr)

2018 아주대학교 산업공학과 공학사
2018~ 현재 아주대학교 대학원 산업공학과 석사과정

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, Smart Factory



이 웅 근 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-3117-7429> / boilemo1@ajou.ac.kr)

1988 목포해양대학교 기관학과 공학사
2014 한양대학교 기계공학과 공학석사
1991~ 현재 한진KPS 종합기술원 수석전문원
2019~ 현재 아주대학교 산업공학과 박사과정

관심분야 : Prognostics and Health Management, 모델링&시뮬레이션, 산업설비 신뢰성공학



박 상 철 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-7832-2742> / spark@ajou.ac.kr)

1994 한국과학기술원 산업공학과 공학사
1996 한국과학기술원 산업공학과 공학석사
2000 한국과학기술원 산업공학과 공학박사
2000~ 2001 큐빅테크, 선임연구원
2002~ 2004 DaimlerChrysler ITM Dept. Research Engineer
2008~ 현재 아주대학교 산업정보시스템 공학부, 정교수

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, CAD/CAM, 신뢰성 예측, Smart Factory