

파이로공정 실행 시스템 테스트베드를 활용한 파이로 전해공정 운전 자동화 예비개념 구현

박선영¹, 신문수^{1*}, 한종희², 류동석², 이종광²

¹한밭대학교, 대전광역시 유성구 동서대로 125

²한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*shinms@hanbat.ac.kr

1. 서론

한국원자력연구원에서는 사용후핵연료의 건식처리 기법인 파이로공정을 상용화하기 위해 단계별로 연구개발 및 검증을 하고 있다. 현재 한국원자력연구원의 공학규모 파이로공정 실험시설은 수동으로 실험을 진행하고 있다. 그러나 파이로공정의 상업화가 이루어지는 경우 수동운전은 작업자의 취급오류가 개입될 확률이 높고, 상업적 목적으로 실제 방사성 물질을 다루는 경우 이러한 인적오류는 매우 심각한 문제를 야기할 수 있다. 따라서 파이로공정의 상용화단계에서는 작업자의 취급불확실성 최소화 등의 문제를 극복하기 위해 공정자동화가 필수적이다.

일반적인 산업시설에서는 이미 자동화된 장비가 널리 사용되고 있으며, 이를 위해 제조실행시스템(MES) 또는 원격운전시스템(ROS)이 활용되고 있다[1]. 그러나 방사성 물질을 다루는 환경에서 자동화된 장비를 도입한 사례가 많지 않으며, 파이로공정 시설에 자동화 장비를 기반으로 한 MES 구축 사례는 전무한 실정이다.

이에 파이로공정의 자동화를 실현시키기 위해 파이로 공정 실행 시스템(PES, Pyroprocessing Execution System)의 프레임워크를 제안하고 테스트베드를 개발하였다[2]. 본 논문에서는 파이로 전해공정의 예비개념을 상기 개발된 PES 테스트베드에 적용하는 작업에 대해 논의하고자 한다.

2. 본론

2.1 파이로 공정 실행 시스템 테스트베드

파이로 공정 실행 시스템 테스트베드는 산업용 MES와 같이 공정 자동화를 총괄하는 파이로 공정 실행 시스템(PES)과 이를 검증하기 위하여 공정셀을 가상으로 모사하여 시뮬레이션을 수행하는 가상 공정셀 시뮬레이터 시스템으로 구성된다. 각 시스템은 TCP/IP 통신을 통해 메시지를 교환하는 방식으로 상호작용하며, PES는 전달받은 공정셀의

정보를 관리하고 시시각각 발생하는 정보를 바탕으로 실행명령을 생성한다. 주로 작업물의 이송에 대한 의사결정을 처리하고 이 과정에서 필요한 정보를 체계적으로 관리한다. 시뮬레이터 시스템은 공정셀의 상태변이를 모사하여 PES 시스템으로 전달한다. 이를 통해 PES 시스템의 의사결정에 대해 검증/평가하는 테스트베드 역할을 수행할 수 있다. Fig. 1은 테스트베드를 구조화하여 Fig으로 나타낸 것이다.

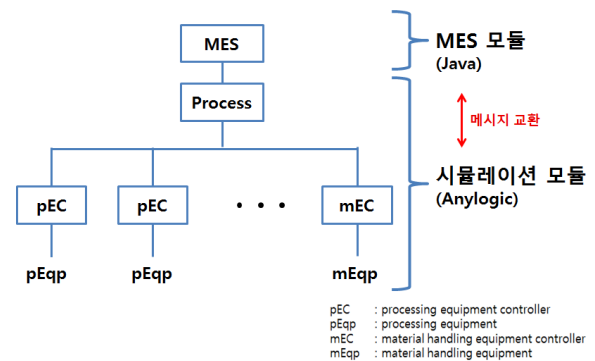


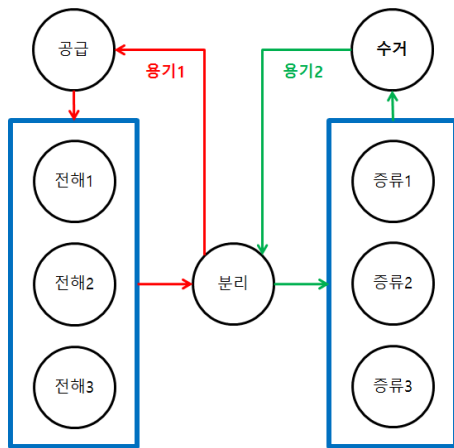
Fig. 1. Test-bed Framework.

Fig. 1에서 pEC/pEqp로 표시된 자동화 장치는 현재 개발된 바 없으므로, 이를 가상으로 검증하기 위하여 일종의 범용 시뮬레이션 도구인 Anylogic[3]을 활용하여 각 설비의 기본적인 기능을 구현하고 실제 공정셀의 형태를 모사하였다. 시뮬레이터 시스템은 에이전트 기반의 시뮬레이션 기법을 활용하여 구현되었고 각 설비는 에이전트로 설계되었다. 그리고 각 에이전트의 상태와 에이전트의 상태전이를 유발하는 이벤트를 정의하여 이를 기반으로 하는 에이전트의 state-chart를 통해 설비의 가동과 유희를 모사하였다.

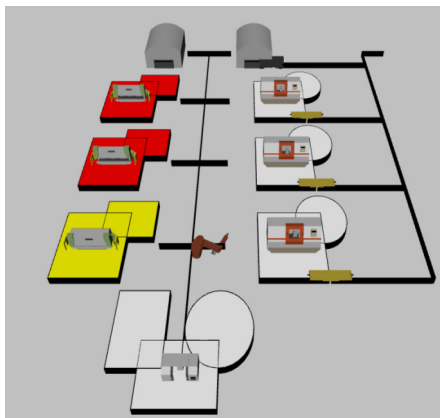
PES는 시뮬레이터 시스템과 독립적으로 동작하고, 작업지시를 해석하고 처리하는 데이터 객체를 포함하며, 의사결정기능과 생산시점관리시스템(POP, Point of Production) 기능을 탑재한 Java 기반의 stand-alone 시스템으로 구현된다.

2.2 파이로 전해공정 자동화 예비개념 적용

파이로 공정을 구성하는 전해공정의 예비개념을 다음과 같이 가정해 보기로 한다. 해당 전해공정은, 전체 공급량을 소화하기 위하여 동일한 전해공정장치 3대와 전해공정장치를 거친 물질을 처리하는 증류공정장치 3대를 구비하고, 자동화를 위하여 추가적으로 물질공급장치, 물질분리장치, 물질수거장치를 각 1대씩 구비하는 것으로 가정한다. Fig. 2는 파이로 전해공정을 구성하는 자동화 장치 구성 및 이를 구현하는 시뮬레이터를 도시한 것이다. 상기 자동화 예비개념을 구성하는 장치들을 물리적으로 배치함에 있어서 다양한 레이아웃을 고려할 수 있으나, 본 연구에서는 Fig. 2(a)의 논리적 구성을 그대로 사용하여 Fig. 2(b)와 같이 시뮬레이터를 구현하였다.



(a) Conceptual Process Diagram



(b) Anylogic-based Simulator

Fig. 2. Conceptual Diagram and Simulator.

물질공급장치는 전체 공정에서 가공하고자 하는 물질을 공급하고, 공급된 원료물질은 전해공정장치를 거쳐 물질분리장치로 이송된다. 그리고 증류공정장치를 거쳐 최종적으로 생산된 물질은 물질수거

장치로 이송된다. 각 물질의 이송은 두 가지 전용 이송용기를 활용한다. 용기 1은 물질공급장치, 전해공정장치, 물질분리장치를 순환하고, 용기 2는 물질분리장치, 증류공정장치, 물질수거장치를 순차적으로 이동한다. 이때 각 전용용기는 통일된 규격으로 파지 가능하여 하나의 자동화 취급장치가 각 전용용기를 모두 이송한다.

각 공정장치로 상기 전용용기 및 자동화 취급장치를 사용하여 물질을 이송하는 방법은 다음과 같다. 각 공정장치의 작업이 완료되면 시뮬레이터 시스템은 PES에 unload request 메시지를 요청한다. PES가 상황을 분석하여 비어있는 공정장치를 탐색하고 대기중인 취급장치에 상기 공정장치로 이송을 명령하는 메시지를 전달한다. 자동화 취급장치가 공정장치의 포트에 용기를 load하면, PES에 작업 완료 메시지가 전달되고, PES는 시뮬레이터 시스템에 해당 공정장치의 공정시작 메시지를 전달한다.

3. 결론

본 연구에서는, PES 테스트베드에서 시뮬레이터 시스템과 PES 시스템 상호간에 주고받는 메시지를 기반으로 물질 이송을 수행함으로써 파이로 전해공정의 운전 자동화 예비개념을 구현하였다. 본 논문에서와 같이 PES 테스트베드는 변경되는 다양한 파이로 공정의 예비개념의 검증에 활용될 예정이다.

4. 감사의 글

본 연구는 정부가 지원하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] SHI TING, 정연경, 노상도, 조현제, 조용주, 최석우, "c-MES 적용을 위한 시스템 엔지니어링 방법론에 관한 연구", 대한산업공학회 2012년 춘계공동학술대회 논문집, 346-351, 2012.
- [2] 신문수, "원격이송자동화의 MES 알고리즘 구현을 위한 테크노매틱스 프레임워크 개발", KAERI/CM-2247, (2015).
- [3] Anylogic, www.anylogic.com.