

파이로 공정 운전 자동화 예비개념 도출을 위한 기초 프레임워크 예시

류동석*, 한종희, 김성현, 정운목, 김기호, 이종광
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*sayryu@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료 재순환을 위해 핵비확산성을 갖는 파이로 공정에 대한 연구가 한국원자력연구원에서 진행되고 있다. 모의핵연료를 사용하여 공학규모 실험을 수행하는 PRIDE 시설과 실제 사용후핵연료를 사용하여 일부 공정을 검증하는 ACPF 시설을 구축하여 연구를 진행하고 있으며, 실시되는 실험은 작업자가 원격시스템을 사용하여 수동으로 실행하게 된다 [1,2].

현대의 많은 산업시설이 자동화되어 운영되는 것과 달리, 대부분의 방사선 환경 시설은 수동작업으로 운영되고 있다. 추후 파이로공정을 상업화하기 위해서는, 철저한 공정관리와 시설의 안전성을 만족시키기 위하여, 방사선 환경의 공정을 자동화할 수 있는 기술이 필요하다.

파이로 공정은 작업자의 접근이 불가능한 공정셀 내부에서 수행된다. 따라서 작업자는 상기 공정셀에 설치된 기계식/서보식 원격조작기, 크레인, 등의 원격시스템을 사용하여, 공정셀 외부에서 수동으로 운전 및 유지보수를 실시하고 있다.

본 논문에서는 공정셀에서 수동으로 작업하는 파이로 공정을 자동화하기 위한 원칙을 수립하고, 운전 작업을 자동화하기 위한 예비개념을 도출하는 프레임워크와 이를 적용한 작업사례를 소개한다.

2. 본론

2.1 자동화 관점의 기존 파이로 공정 분석

파이로 공정은 전처리, 환원, 정련, 제련 등 다양한 단위공정으로 구성되며, 대부분 작업자 접근이 불가능한 공정셀 내부에서 수행된다. 파이로 공정의 자동화를 논의하기 위해서는, 먼저 자동화 작업의 관점에서 기존의 공정을 분석하고, 자동화에 필요한 공정장치/취급장치/작업도구 등을 재정의하고 단순화/규격화하는 작업이 선행되어야 한다.

기존 파이로 공정 작업을 살펴보면, 각 단위공정으로 유입/유출되는 용기 및 수단이 상이하고 규격화된 취급장치 또는 취급절차가 부재하였다. 단위공정 간

연계 작업에 있어서, 공정용기/작업도구 등을 여러 단위공정들이 서로 공유함으로써, 각 단위공정의 독립성을 저해하였다. 각 단위공정의 내부를 살펴보면, 핵심적인 공정장치에 대해서만 연구가 이루어졌을 뿐, 상기 공정장치 가동 전/후에 필요한 물질의 전처리, 장입방법, 수거절차, 등에 대해서는 선행연구가 미흡하였다. 단위공정 내부적으로 사용되는 공정용기의 종류 및 취급방법이 모두 상이하고, 공정용기의 사용범위가 명확하게 정의되지 못하였으며, 상황 및 필요에 따라 변동되었다. 공정용기의 흐름이나 순환에 대한 고려가 없으므로, 유한개의 공정용기를 사용한 지속적인 조업이 불가능하였다.

2.2 파이로 공정 자동화 원칙 수립

파이로 공정의 운전 자동화 예비개념을 수립함에 있어서 다음과 같은 원칙을 따르도록 하였다.

파이로 공정을 위한 공정셀 내부의 물리적인 구획을 나눔에 있어서, 공정의 목적이나 화학적 특성에 따라 각 단위공정별로 구획하는 것이 아니라, 물리적 이송과 기계적 취급 관점에서 공정을 재분석하고 연계성이 높은 공정장치와 취급장치의 집합을 도출하여 독립적 특성을 갖는 자동화 구역으로 정의한 후, 이를 공정셀 구획의 기본으로 한다.

파이로 공정에서 발생하는 이송작업에 있어서, 물질의 종류/이송량 및 선행/후행 공정과 같은 화학적/논리적으로 분석된 물질흐름과는 별도로, 이송용기의 종류/개수 및 출발/도착 장치와 같은 물리적/기계적으로 분석된 용기흐름을 기본적인 자료로 활용한다. 상기 용기흐름을 분석함에 있어서, 물질흐름의 객체가 되는 논리적 거점공정 중심이 아닌, 용기흐름의 주체가 되는 이송용기/취급수단/거점장치 중심으로 정리한다.

상기 정의된 자동화 구역 간의 용기이송에 있어서, 각 자동화 구역으로 용기를 유입/유출하는 일관된 인터페이스를 정의한다. 즉, 전입/전출되는 물질은 동일 규격용기/취급방법을 사용하고, 각 자동화 구역은 입출을 전담하는 전용장치를 갖추으로써, 각 자동화 구역은 이송에 있어서 내부적 특성과 무관하게 객체화하도록 한다. 결과적으로, 취급

장치의 용기 이송 관점에서는, 각 자동화 구역에 따른 차이가 없어지게 된다.

각 자동화 구역은 내부적 특성에 따라 공정의 고유한 기능을 수행하는 공정장치 및 이를 보조하기 위한 지원장치가 설치되고, 각 장치에서 사용되는 공정용기와 작업도구를 구비한다.

각 자동화 구역에서 사용되는 공정용기/작업도구는 규격화된 취급부를 갖으며, 규격화된 취급부는 신뢰성과 안전성을 만족하여야 하며, 그 종류를 최소한의 숫자로 제한한다. 또한 그 사용범위를 해당 자동화 구역 내부로 제한하고, 외부 반출 또는 유입을 엄격히 통제하여, 각 자동화 구역의 객체성/독립성을 확보하도록 한다.

각 자동화 구역의 공정장치 또는 지원장치는 사용되는 공정용기가 체결되고 해제되는 위치, 방법, 수단을 특정하고, 해당 장치에 체결된 공정용기의 구동이 필요한 경우, 구동 목적, 움직임, 방법, 종료 조건 등을 명시한다.

각 자동화 구역의 지원장치에 있어서, 해당 자동화 구역으로 유입되는 물질의 수급을 전담하고, 자동화 구역 내부에 물질을 공급하는 물질공급장치를 구비한다. 또한, 해당 자동화 구역에서 유출되는 물질을 수거하여 외부에 불출을 전담하는 물질수거장치를 구비한다.

각 자동화 구역 내부에서 사용되는 공정용기의 흐름을 명시하도록 하는데, 각 공정용기의 흐름은 해당 부분공정 내부에서만 순환되도록 제한하고, 유한개의 공정용기로 연속적인 공정이 가능한지 검증되어야 한다.

2.3 운전 자동화 예비개념 기초프레임 워크

상기에서 수립된 자동화 원칙에 따라, 파이로 공정의 운전 작업을 자동화할 수 있는 예비개념을 도출하기 위하여 다음과 같은 작업 절차를 순차적으로 실시하였다.

- 자동화 구역 간 운전 자동화 예비개념 도출
 - 자동화 구역 정의
 - 자동화 구역 간 이송용기 및 취급방법 정의
 - 이송용기 취급 자동화 요건 도출
 - 취급방법 자동화 요건 도출
 - 이송용기 및 취급장치 자동화 상세 요건 도출
- 자동화 구역 별 운전 자동화 예비개념 도출
 - 공정장치 및 지원장치 정의
 - 공정용기/작업도구 및 취급방법 정의

- 공정용기 흐름 및 취급장치 정의
- 공정용기/작업도구 취급 자동화 요건 도출
- 취급방법 자동화 요건 도출
- 공정장치 및 지원장치 자동화 상세요건 도출
- 공정용기/작업도구 및 취급장치 자동화 상세요건 도출

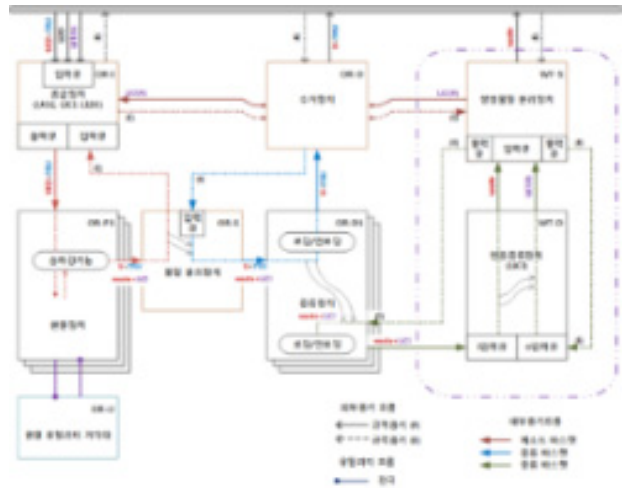


Fig. 1. Example study on preliminary concept for pyroprocessing automation.

2.4 운전 자동화 예비개념 도출 예시작업

상기에서 수립된 자동화 원칙에 따라, 공정셀에서 수행되는 자동화 구역을 3개로 구분하여 정의하고, 이송용기/공정용기의 흐름을 정의하였다. Fig. 1은 운전 자동화 예비개념 도출 예시작업을 도시한 것이다. Fig. 1을 보면 자동화 구역에 포함된 공정장치 및 지원장치의 구성과 공정용기의 흐름이 명시된 것을 알 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는, 파이로 공정 운전 자동화의 예비개념을 수립하기 위한 기초 프레임워크를 제시하고, 하나의 작업 사례를 예시하였다.

4. 참고문헌

- [1] 류동석, 김성현, 조일제, 김기호, "OPC 통신을 활용한 PRIDE 원격시스템 시뮬레이션 아키텍처" 한국방사성폐기물학회 2015년 춘계학술대회 논문집, pp.53-54, 2015.
- [2] 류동석, 김성현, 조일제, 김기호, "PRIDE 가상목업을 위한 원격취급시스템의 유저 인터페이스 개발" 한국방사성폐기물학회 2015년 추계학술대회 논문집, pp.51-52, 2015.