

## 사용후핵연료 파이로시설 물질흐름 모델링을 위한 연구

이효직, 고원일

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045, 989번길 111

hyojik@kaeri.re.kr

### 1. 서론

파이로공정의 대부분 단위공정은 전기화학반응 기반의 공정으로 단위공정의 반응에 초점이 맞추어져 있어서 시설수준의 모델을 설계할 때에는 이와 다른 측면을 염두해야 한다. 단위공정이 총괄되는 시설수준의 모델이란 단위공정이 주고받는 물질의 조성, 양 및 형태 등을 운전절차에 따라 관리하고 분석할 수 있는 형태여야 한다. 이를 위해 파이로프로세싱 시설 수준 코드 개발을 위한 시설 코드 설계 및 프레임워크에 관한 연구를 수행하였다.

### 2. 기본 프레임워크

#### 2.1 다중 모델링 아키텍처

파이로프로세싱 시설수준 모델 개발을 위해 다음 Fig. 1과 같은 3 수준 개발 아키텍처를 제안하였다. 가장 하위 수준의 모델은 단위공정의 반응식으로 구성되어 있고, 2 수준 모델은 운전모델(공정장치 운전, 원격취급, 운반/이송, 장입/반출 등에 관여)로 구성되어 있으며, 최상위 수준은 시설수준의 모델로 데이터베이스 모듈, 분석 모듈, 가시화 모듈 등을 추가로 탑재하게 된다.



Fig. 1. Plant-level code development architecture: three tiered model.

#### 2.2 시설수준모델을 위한 SW

시설수준모델 개발을 위한 요구사항을 분석해보면, 첫째, 연속시스템(시스템동역학) 모델링이 가능할 것, 둘째, 운전모델링을 할 수 있는 이산사건시스템 모델링이 가능할 것, 셋째, 데이터베이스 연계 관리가 용이할 것, 넷째, what-if 시나리

오 분석이 가능하며, 결과출력 및 가시화가 가능할 것 등으로 종합할 수 있다. 이를 만족할 수 있는 상용 SW 중 몇 가지를 대상으로 비교 문헌조사 및 벤치마킹을 수행하였다. 시스템동역학 모델링 SW로는 PowerSim, Vensim 등이 있고, 이산사건시스템 SW로는 ExtendSim[1], FlexSim, Arena, Witness 등이 있으며 DB 연계성 측면에서는 Anylogic, PowerSim, ExtendSim 등이 DDE(Dynamic Data Exchange) 기능을 제공하여 EXCEL 등 외부프로그램과의 연계를 용이하게 한다. 또한 결과분석의 가시화 측면에서는 2D, 3D 객체의 애니메이션 등을 제공하는 SW가 많이 있다. 본 연구에서는 미국에서 핵주기시설 모델링에 사용되어 검증된 바 있는 ExtendSim을 프레임워크 개발을 위한 SW로 선정하였다.

#### 2.3 동적 물질흐름

시설수준에서 동적 물질흐름을 구현하기 위한 전략은 다음과 같다. 현재까지 개발되어 있는 정적물질흐름을 기반으로 이산사건시스템 환경에서 이벤트 변화에 따른 동적물질흐름을 구현하는 방법[2]과 단위공정 모델로부터 연속적으로 계산되는 물질수지 결과로부터 동적물질흐름을 구현하는 방법이 있다. 본 연구에서는 이 두가지 방법을 선택적으로 포용할 수 있는 시설수준의 프레임워크를 구현하고자 하였다.

#### 2.4 시설수준 코드 기능구현

시설수준 코드가 갖추어야 될 기능적인 측면과 1~3 수준 모델들의 연관성을 Fig. 2에 나타내었다. 시설수준의 코드는 1, 2 수준의 모델을 취합하고, 분석, 가시화, 데이터베이스 관리 등의 기능적인 모듈을 추가하여 완성된다.

#### 2.5 모델 설계

앞서 기술한 시설수준 코드개발의 개념을 적용하여 파이로프로세싱 시설의 물질흐름 분석을 위한 예비 모델을 개발하였다. 현재까지 단위공정 모델은 탑재하지 않았으며, 정적물질수지를 이용

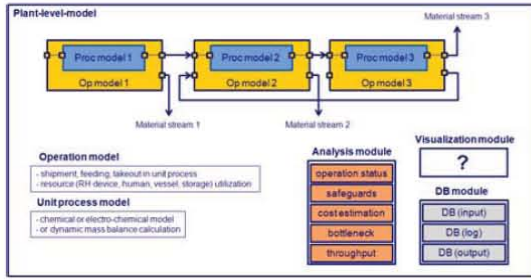


Fig. 2. Configuration of plant level framework.

한 동적물질흐름을 구현하여 모델을 구축하였다. 사용후핵연료의 조성 및 양을 가시화하여 보여줄 수 있도록 동적데이터를 삽입하였고, 파이로 공정 생성물(U-Ingot, TRU)과 폐기물 양을 애니메이션과 함께 동적수치로 나타내었다. Fig. 3은 예비모델의 첫화면이며, Fig. 4는 단위공정블록의 구성도를 나타내고 있다.

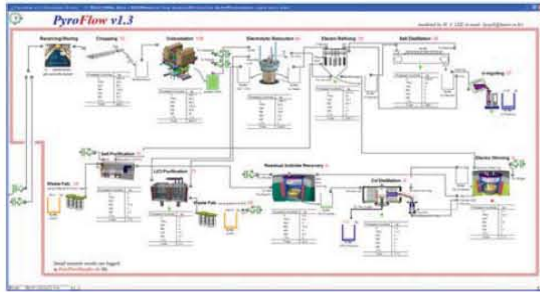


Fig. 3. Top window of pyroprocessing plant model..

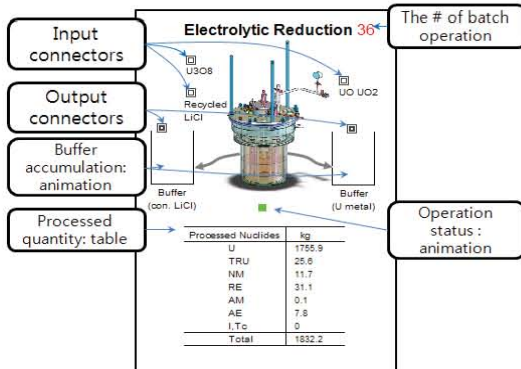


Fig. 4. Top window of pyroprocessing plant model.

단위공정의 블록을 살펴보면 입력커넥터를 통해서 한 배치에 해당하는 물질을 앞 공정으로 부터 받아서 일정시간이 흐른 후 출력커넥터를 통해 해당 경로에 해당하는 물질을 보낸다. 공정이름 상단에는 동적으로 배치회수를 표시하고 있으며, 그림 아래쪽에는 공정장치의 상태를 나타내는

애니메이션이 있고, 맨 아래는 현재까지 이 공정에서 처리한 핵종별 처리량을 동적 테이블로 나타내고 있으며, 버퍼에는 다음 공정으로 가기전에 쌓여있는 중간 공정생성물의 양을 애니메이션으로 나타내고 있다. 시간 및 이벤트에 따른 모든 수치변화 결과 데이터는 EXCEL로 보내져 차트 생성프로그램과 연계하도록 되어 있다.

### 3. 결론

파이로공정의 시설수준 코드 개발을 위한 기본 개념으로 3 수준의 코드개발 아키텍처를 설계하고, 각 수준별 필요한 기능등을 프레임워크 설계를 통해 구현해보았다. 현재까지는 정적물질수지를 기반으로 동적물질흐름을 구현할 수 있는 물질흐름 분석을 위한 파이로시설의 예비모델을 개발하여 가능성을 점검하였다. 향후에는 이를 더 발전시켜 단위공정 모델의 개발여부에 따라 선택적으로 동적물질수지 계산을 할 수 있도록 코드를 개발할 예정이며, 파이로시설 수준 코드는 시설 및 공정설계 제안, 운전방법 제시, 시설규모 예측 및 기술평가를 위해 요긴하게 사용될 예정이다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 연구재단의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 5. 참고문헌

[1] www.extendsim.com  
 [2] H. J. Lee, K. Kim, H. D. Kim and H. S. Lee, Discrete event dynamic system (DES)-based modeling for dynamic material flow in the pyroprocess, Annals of nuclear energy, Vol.38, pp. 860-875. 2011.