

## 공학규모 파이로 실증시설 위해도 평가

구정희, 문성인, 유길성, 정원명, 조일제, 이호희, 김호동  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111  
[ihku@kaeri.re.kr](mailto:ihku@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

현재 국내에서 개발 중에 있는 파이로 공정은 사용후핵연료의 건식처리기술로서 기존 습식처리기술인 PUREX에 비해 핵확산저항성, 경제성, 환경친화성 및 자원 활용성 제고를 통한 원자력의 지속가능성 확보가 가능한 기술로 알려져 있다. 파이로 공정 기술의 주요 특징은 고온(500-650℃) 용융염 매질을 사용하여 전기화학적 방법에 의해 핵물질을 분리하는 개념으로 고순도의 플루토늄 단독 회수가 불가능하고, 공정이 단순하며 고속로 핵연료물질 생산이 가능하다. 파이로 공정시험은 공정특성상 대부분의 공정이 불활성 분위기(inert atmosphere) 하에서 수행되어야 하므로 대량의 아르곤 가스가 사용되며, 염화우라늄 제조장치에 공급되는 염소가스가 사용된다. 따라서 파이로 시설의 안전한 운영을 위해 아르곤과 염소 등의 위험가스 누출사고에 따른 정량적 위험성평가가 수행되어야 한다.

본 연구의 목적은 공학규모 파이로 실증시설에 대한 주요 위험요인에 대한 정량적 위험성을 평가하는 것이다. 이를 위해 공정에서 사용되는 물질 중 누출 시 작업원의 질식사고 우려가 있거나 물질이 가진 유독성으로 인한 중독·사망사고의 우려가 있는 아르곤과 염소 가스를 선정하여 가스의 누출사고 시나리오를 수립하고 이에 따른 위험성평가를 실시하였다. 위험성평가는 Fig. 1에 나타난 절차에 따라 수행하였다.

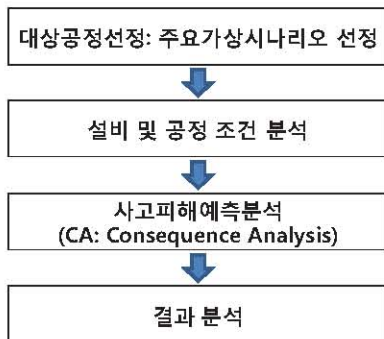


Fig. 1. Hazard analysis procedure.

### 2. 본론

#### 2.1 가상사고 시나리오 선정

파이로 공정의 주요 위험요인에 대한 정량적인 위험성을 평가하기 위해 공정에서 사용되는 물질 중 누출 시 작업원에게 피해가 예상되는 아르곤 및 염소 가스의 누출사고를 가상사고 시나리오로 선정하였다.

##### 2.1.1 아르곤가스 누출사고

아르곤가스 누출사고는 아르곤 셀로 아르곤을 공급하는 배관의 파손으로 인해 아르곤이 누출되는 사고이다. 아르곤 저장탱크로부터 공급된 아르곤은 기화기를 지나 3inch 배관을 통해 아르곤 셀로 공급된다. 아르곤 셀로 아르곤을 공급하는 배관 연결부의 파손으로 인한 누출 사고 시 배관의 길이는 30m와 100m 두 가지 경우를 고려하고, 실내 공기 조화시스템으로 인한 실내 공기 유속은 1.5m/s로 가정하였다.

##### 2.1.2 염소가스 누출사고

염소가스 누출사고는 염화우라늄 제조장치로 염소를 공급하는 배관의 파손으로 인한 염소가스 누출을 가정한 사고이다. 염소가스는 실내/외에 위치한 염소 실린더에서 1/2inch 배관을 통해 염화우라늄 제조장치로 공급된다. 염소 실린더에 연결된 배관 연결부의 파손으로 인한 누출 사고 시 배관의 길이는 30m와 100m 두 가지 경우를 고려하고, 실내 공기조화시스템으로 인한 실내 공기 유속은 1.5m/s로 가정하였다.

#### 2.2 사고피해예측분석

아르곤 및 염소 가스 누출사고에 대한 정량적인 위험성을 평가하기 위해 사고피해예측분석(CA: Consequence Analysis)을 수행하였다. 각각의 사례해석을 위해 유독성 가스구름(toxic gas cloud), 화재 및 폭발을 포함한 유해화학물질의 누출과 관련된 위험 영역을 추정하는 모델링 프로그램인 ALOHA 5.4.2를 사용하였으며, 해석시 사용된 입력조건은 Table 1에 나타내었다. 계산시 바람의 속도/안정도는 최악의 경우를 적용하였다.

Table 1. Analysis input data.

|       |                          | 아르곤 누설사고       | 염소 누설사고          |
|-------|--------------------------|----------------|------------------|
| 대기 조건 | 유속(m/s)                  | 1.5            | 1.5              |
|       | 온도(°C)                   | 25             | 25               |
|       | 대기안정도                    | F Class        | F Class          |
|       | 상대습도(%)                  | 50             | 50               |
| 가스 조건 | 배관형상                     | 3inch, 30/100m | 1/2inch, 30/100m |
|       | 압력(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 3.0            | 1.03             |
|       | 온도(°C)                   | 40             | 21               |

2.3 사고피해규모 예측결과

2.3.1 아르곤가스 누출사고

아르곤가스의 누출사고가 발생한 경우 Table 2 에 나타낸 바와 같이 누출원에서 10m 부근의 산소 농도는 16%이고 산소농도가 12% 이하로 감소 되는 지역은 없는 것으로 분석되었다. 누출되는 아르곤으로 인한 산소 농도의 저하는 그리 심각 하지 않지만 누출원 근처에서 산소 농도는 16% 이하 12% 초과인 것으로 추정되므로 누출된 가스가 제거되도록 하는 것이 바람직하다.

2.3.2 염소가스 누출사고

염소가스 누출사고에 대한 해석결과는 Table 3 에 나타내었다. 염소 실린더가 실외에 위치하고 직경이 1/2inch인 연결 배관의 길이가 30m 가량 인 경우 1분만에 12ppm, 10분 만에 115ppm에 도달하며, 연결 배관의 길이가 100m인 경우 1분 만에 6ppm, 10분만에 63ppm에 도달하는 것으로 분석되었다. Fig. 2는 30m 1/2inch 배관에서 염소가스가 누출될 경우에 대한 영향거리를 나타낸 것이다. 염소가스 누출사고의 경우 30분 이내의 작업시간에 사망에 이를 수 있는 농도에 도달하는 것으로 보이므로 누출된 가스는 즉시 제거할 수 있도록 설계하여야 한다.

Table 2. Analysis result for argon gas release accident.

| Treat Zone | 아르곤 농도 (ppm) | 산소 농도 (%) | 영향거리(m) |         |
|------------|--------------|-----------|---------|---------|
|            |              |           | 30m 배관  | 100m 배관 |
| PAC-3      | 400,000      | 12.6      | -       | -       |
| PAC-2      | 230,000      | 16.2      | 10 이하   | 10 이하   |
| PAC-1      | 65,000       | 19.6      | 25      | 18      |

Table 3. Analysis results for chlorine gas release accident.

| 누출시간(min) | 실내 염소 농도(ppm) |         |
|-----------|---------------|---------|
|           | 30m 배관        | 100m 배관 |
| 1         | 12            | 6       |
| 2         | 23            | 13      |
| 10        | 115           | 63      |
| 60        | 691           | 380     |

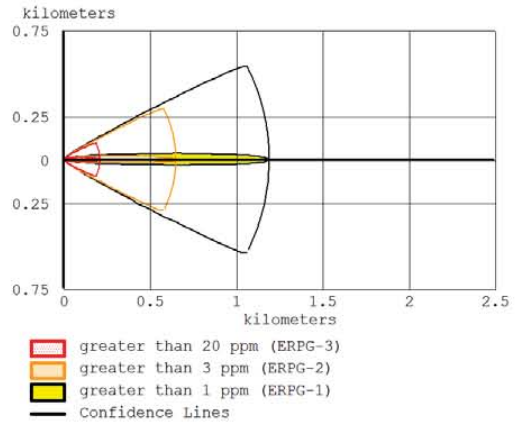


Fig. 2 Example of toxic threat zone for chlorin release accident at 30m pipe.

3. 결론

본 연구에서는 공학규모 파이프 실증시설을 대상으로 아르곤과 염소 가스 누출에 대한 사고시나리오를 가정하고 그 영향을 평가하였다. 향후 본 연구에서 검토한 설계인자들을 고려하여 파이프 핫셀 설계시 안전성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대되며, 기타 설계인자들에 대한 추가적인 검토도 필요할 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] 차세대핵주기공정 실증시설 설계기술개발, KAERI/RR-3146/2009.
- [2] 사고피해예측기법, KOSHA Code P-31-2001.
- [3] 화학물질지수(CEI) 산정지침, KOSHA Code P-31-2001.
- [4] 최악의 누출 시나리오 선정지침, KOSHA Code P-31-2001.