

전해제련장치 설계를 위한 반응기 내부 열전달 해석

윤달성, 백승우, 김시형, 김광락, 권상운, 심준보, 안도희
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
 UST(University of Science and Technology)
 vds0127@kaeri.re.kr

1. 서론

사용 후 핵연료는 96%의 우라늄과 1%의 초 우라늄 군을 포함하고 있으며, 차세대 원자로의 연료 물질로서 효과적으로 사용 될 수 있다. 이를 위하여 한국원자력연구원(KAERI)에서는 우라늄과 초 우라늄 군을 분리하는 동시에 회수 하는 전해 제련 연구가 실험실 규모로 진행 중이다. 본 연구에서는 공학규모 전해제련 장치의 설계를 사용 될 scale-up 자료를 얻기 위하여 실험실 규모 전해제련 장치의 열전달 해석을 수행 하였다. 전해 실험을 수행하기 위하여 용융염의 온도분포가 일정해야 하며, 카드뮴의 증발을 줄이고 장치의 덮개에서 원활하게 전극과 교반기 등을 사용하기 위해서는 Ar 가스의 온도가 낮아야 한다. 따라서 가열장치와 냉각장치의 크기와 상부 냉각 판의 구조에 따라 내부의 용융염과 Ar가스의 온도분포를 규명하는데 중점을 두었다. 상용전산코드인 Ansys CFX 유동해석 프로그램을 이용하였으며, 실험실 규모 전해 제련 실험 장치와 구조, 크기를 동일하게 모델링 하였다.

2. 실험 및 결과

본 연구에서는 Fig.1에 나타난 바와 같이 장치의 총 높이 370mm, 직경 210mm, 바닥 면 전체와 아래로부터 300mm 높이에서 가열을 하며, 그 위로 50mm 높이만큼 냉각을 한다. 냉각부와 같은 높이에 직경 150mm의 냉각 판이 설치되었으며, 용융염은 직경과 높이가 150mm로 각각 설정되었다. Ar과 용융염은 실제 물성 치와 동일하게 적용되었으며, 온도분포의 해석결과 Fig.2와 같은 특성을 보였다. 이를 실제 공정에서 운전 할 때의 Ar과 용융염의 온도와 비교해 Table.1에 나타내었다.

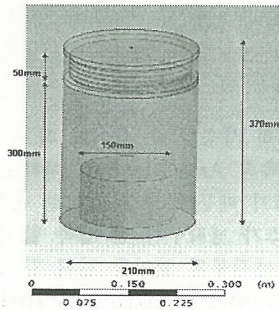


Fig.1 전해제련장치

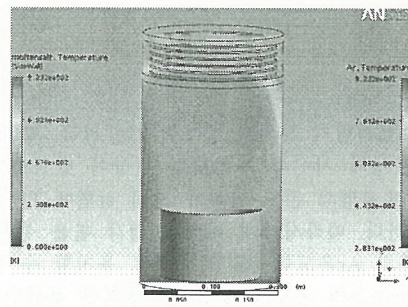


Fig.2 Ar, 용융염 온도분포 해석 결과

Table.1 실제공정의 온도분포와 비교

| | 가열장치의 설정온도 | 용융염의 평균 온도 | Ar의 온도(용융염 위) | Ar의 온도 (덮개 아래) |
|-------|------------|------------|---------------|----------------|
| 실제운전 | 650℃ | 500~515℃ | 440℃ | 200℃ |
| 시뮬레이션 | 650℃ | 515℃ | 470℃ | 240℃ |

전해제련 실험은 용융염 500℃에서 수행되며 이온도에 도달하기 위해 650℃로 약 5시간 가열 하여야 한다. 그 이후로 아주 천천히 515℃까지 증가한다. Table.1과 같이 본 시뮬레이션의 계산 값이 실제 측정된 값과 그 경향성이 일치하는 것을 알 수 있었다.

Table.2와 같이 각 시물레이션을 운전변수를 다르게 하여 해석해 보았다. SET1, SET2 그리고 SET4는 냉각 판의 숫자를 다르게 하였으며, SET1과 SET3은 가열부와 냉각부의 높이를 다르게 하였다. SET5는 바닥 부분에서만 가열을 하였고 300mm의 가열 부는 상온으로 설정하였다. Table.3에서는 시물레이션 해석 결과를 나타내었다.

장치의 300mm 높이에 냉각 판을 하나 설치함으로써 덮개 아래의 Ar온도가 약 30℃ 이상 낮아졌으며, 5개의 냉각 판을 설치했을 때 Ar 온도가 약 240℃까지 낮아졌다. 발열부의 높이를 줄이고 냉각부의 높이를 길게 했을 경우 냉각 판 위쪽의 Ar온도를 효과적으로 낮출 수 있었지만, 용융염의 평균 온도가 낮아졌으며, Table.4와 같이 용융염내에 최대 40℃ 정도의 온도구배를 보였다.

Table.2 각 시물레이션의 운전변수

| | SET1 | SET2 | SET3 | SET4 | SET5 |
|--------|-------|-------|-------|-------|------|
| 가열부 높이 | 300mm | 300mm | 200mm | 300mm | 0mm |
| 냉각부 높이 | 50mm | 50mm | 100mm | 50mm | 50mm |
| 가열 온도 | 650℃ | 650℃ | 650℃ | 650℃ | 650℃ |
| 냉각 온도 | 10℃ | 10℃ | 10℃ | 10℃ | 10℃ |
| 냉각 판 | 1 | 0 | 1 | 5 | 1 |

Table.3 시물레이션 해석에 의한 Ar, 용융염 온도

| | 용융염 평균 온도 | Ar 평균 온도(용융염위) | Ar 평균 온도(냉각판 위) |
|------|-----------|----------------|-----------------|
| SET1 | 515℃ | 505℃ | 407℃ |
| SET2 | 513℃ | 493℃ | 441℃ |
| SET3 | 488℃ | 427℃ | 363℃ |
| SET4 | 520℃ | 517℃ | 250℃ |
| SET5 | 505℃ | 360℃ | 281℃ |

Table.4 용융염 내부의 온도구배.

| | 용융염 내 온도 구배 |
|------|-------------|
| SET1 | ±3℃ |
| SET2 | ±3℃ |
| SET3 | ±40℃ |
| SET4 | ±3℃ |
| SET5 | ±10℃ |

3. 결론

실험을 수행하면서 장치의 상부에서는 전극, 교반기 등을 원활히 사용할 수 있어야 하고, 카드뮴이 증발 할 경우 장치 사이에 누적되는 현상이 발생하므로 장치 위쪽의 Ar온도는 250℃이하로 유지되어야 한다. 또한 용융염의 온도 변화가 전해 실험에 미치는 영향이 크기 때문에 항상 일정한 온도를 유지할 수 있어야 한다. 따라서 5개 이상의 냉각 판을 설치하여 Ar 가스가 냉각부와 잘 접촉 할 수 있게 해야 장치 윗부분의 Ar온도를 250℃ 이하로 유지할 수 있다. 그리고 냉각부의 높이를 길게 할 경우 또한 효과적으로 Ar가스의 온도를 낮출 수 있지만 용융염의 온도구배가 생긴다. SET3과 SET5에서 가열부의 길이보다 냉각부의 길이가 용융염의 온도구배에 크게 영향을 주며, 냉각부가 아래쪽으로 길어질수록 용융염의 온도가 낮아지고 온도구배도 커지는 것을 알 수 있었다. 본 연구를 공학규모의 전해제련 장치를 설계하는데 기본 자료로 사용하기 위하여, 최적의 가열부와 냉각부의 높이를 설정하고, 냉각 판의 수와 높이에 따른 Ar온도 분포를 구하여야 할 것이다.

사 사

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.