

방사성 동위원소 Bulk 선원 운반용기 차폐체 구조 방안

이운상,^a 송인영,^a 김응수,^a 서기석,^a 김창규,^a 임영훈,^b
 a. 한국원자력연구소, 대전시 유성구 덕진동 150
 b. (주)애니캐스팅, 서울시 강서구 등촌동 678-5번지

1. 서론

방사성 동위원소 Bulk 선원 운반 용기는 산업용 비밀봉 선원을 운반하는데 사용하는 용기로, 고체형 선원인 Ir-192 10,000 Ci 및 액체형 선원인 Mo-99 800 Ci, I-131 1000 Ci 를 운반할 수 있는 용기이다.

이 용기는 하나로에서 생산된 선원을 해외에 수출하거나, 또는 하나로가 정지했을 때 해외로부터 선원을 수입할 때 사용하는 용기이다. 이 용기의 차폐체는 높은 준위의 방사선을 차폐시키기 위해서 차폐 효율이 좋은 감손우라늄 합금을 사용한다.

이 논문에서는 이러한 차폐체를 구조하기 위한 구조 방안에 대하여 기술하고자 한다.

2. 구조 방안 및 구조 해석

2.1 Bulk 선원 용기의 형태

운반용기는 그림 1 과 같이 차폐체와 overpack 으로 구분되며, 액체형 선원을 운반할 경우에는 텅스텐 차폐체를 제거할 수 있도록 분리형으로 설계되어 졌다. DU 차폐체의 치수는 직경 196 mm, 높이 234 mm 이고, overpack 의 외형치수는 직경 354 mm, 길이 432 mm 으로, overpack 는 탄소강 케이스 내부에 폴리 우레탄 폼을 채워 충격 완충 및 단열 효과를 갖도록 하였으며, 폴리우레탄 폼 외부에 방화재를 설치하게 되어 있다.

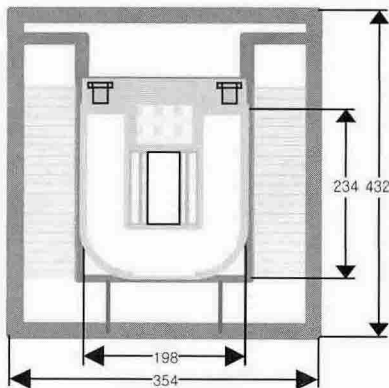


그림 1. Bulk 선원 용기 형태

2.2 구조 방안

2.1.1 응고 수축율

주형을 설계하기 위해서는 수축율을 고려해서 만들고자 하는 최종 제품보다 크게 제작되어야 한다. 감손우라늄의 구조실험에서 경험적으로 우라늄의 응고수축율은 약 2.2%로 나타났으며, 이를 Bulk 선원 운반용기에도 적용하였다. [1, 2]

2.2.2 용탕 중량 및 주입 속도의 결정

Bulk 선원 운반용기 차폐체의 무게는 약 103kg(U-0.2wt%Mo)에 해당되고, 압탕부의 크기는 지름 150 mm, 높이 150 mm 로 약 57kg 으로 하였다. 주입속도는 보통 주입에 소요되는 시간, 즉 주입시간으로 측정된다. 탕구 단면이 일정할 경우 탕구 높이(H)가 높을수록 유속(V)이 빨라지고 주입시간(T)은 작아진다. 도가니의 내경이 210 mm 인 경우 용탕 탕면의 높이는 우라늄 160 kg 이 용해시 도가니 바닥으로부터 탕면까지 약 27.7cm 높이에 있게 된다. 이때 주입속도는 다음식에 의해 구해진다.

$$V = \mu\sqrt{2gH} = 0.4\sqrt{2 \times 980\text{cm/sec}^2 \times 27.7\text{cm}} = 93.2\text{cm/sec}$$

노즐로부터의 유출량 Q 는 다음식에서 구해진다.

$$Q = V \times S \times \rho = 93.2\text{cm/sec} \times \left(\frac{\pi \times (4\text{cm})^2}{4}\right) \times 18.5\text{g/cm}^3 = 21666.9\text{g/sec}$$

주입시간 T 는 다음식에서 약 7.4sec 가 구해진다.

$$T = \frac{W}{Q} = \frac{160000\text{g}}{21666.9\text{g/sec}} \approx 7.38\text{sec}$$

실제로 용탕은 브래킷이나, 분배기에 영향을 받아 이보다 시간이 더 소요되므로 이를 감안하여 주입시간을 8 sec 로 정하였다.

2.2.3 압탕의 설계

압탕은 주입된 주형 내의 용탕에 정압을 부여하여 이것에 의해 정체하고 있는 가스나 용탕에서 발생하는 가스를 제거하는 동시에 용탕의 냉각 및 응고에 따라서 생기는 용탕의 수축에 대하여 용탕을 보급하는 것을 목적으로 한다. 압탕의 설계 조건으로는 압탕이 주물보다 나중에 응고되어야 하며, 압탕이 가지는

액상금속의 압력이 주물의 모든 부분에 골고루 미치는 위치에 설계되도록 해야 한다. 따라서 이 경우에는 압탕은 탕구와 겸용으로 직하 압탕(top riser)으로 하였고, 압탕의 용탕이 보존되어 지향성 응고가 일어나도록 하기 위해 Graphite 를 가공하여 슬리브를 설치하였다.

2.3 주조 해석

주조해석은 주조해석용 AnyCasting software 를 사용하였다. 주조 해석은 유동 해석 및 응고 해석을 수행하였으며, 주조 해석의 조건으로는 용탕 온도 1350 °C, 몰드 재질은 Graphite 로 하였고, 주형 가열 온도 및 압탕의 크기를 표 1 과 같이 변화시켜가면서, 주조 해석을 하였다.

표 1. 주조해석 조건

Simulation Case	압탕 온도 (°C)	주형온도 (°C)			압탕크기 (mm)		Modulus 제품/압탕
		상	중	하	지름	높이	
Case 1	-	650	550	450	62	85	2.57/1.31
Case 2	-	650	550	450	106	174	2.64/2.30
Case 3	-	800	200	150	174	2.75/3.09	
Case 4	1100	800	600	400	150	150	2.41/2.98

경우엔 결함이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결론

주조해석을 통해서 건전한 감손우라늄 합금 차폐체를 주조할 수 있는 주조 방안을 수립하였으며, 이 주조 방안을 적용하여 앞으로 건전한 Bulk 선원 운반 용기 차폐체를 주조할 수 있는 주조 방안을 설계하였다.

REFERENCES

- [1] 이윤상 외, “방사성동위원소 운반용기 차폐체 주조기술 개발”, 한국원자력학회 춘계 학술대회, 1999 년
- [2] Y.S. Lee, et al, “ Casting Technology of Shielding Casks for Radio Isotopes”, 제 1 회 한일주조워크샵, 2003 년

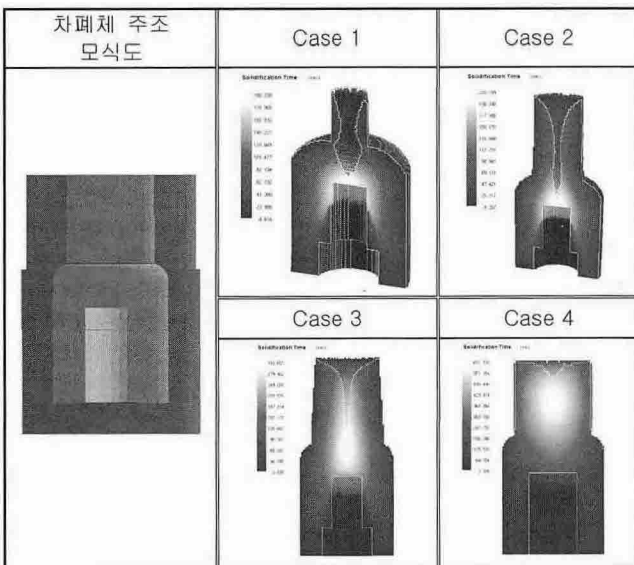


그림 2. 주조해석 결과

주조 해석 결과 case 1 과 case 2 에서는 압탕의 Modulus 가 제품의 Modulus 보다 작아서 수축공이 크게 발생함을 확인할 수 있었다. 따라서 압탕의 지름을 150 mm 로 키워서 압탕의 Modulus 를 크게하였으나 온도 구배가 적절치 않아, case 3 과 같이 제품 상부에 hot spot 이 발생하기 때문에, 최종적으로 case 4 와 같이 압탕 부위를 1100 °C 로 가열시켜 주조를 할