

산업용 B형 벌크용기(KRI-BGM) 차폐 해석

조일제, 방경식, 유길성, 윤지섭

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

hvilje@kaeri.re.kr

산업용 벌크용기의 주요한 차폐체는 감손 우라늄(depleted uranium)이며, 용기 내부에 텅스텐을 보조 차폐체로 사용하였다. 감손 우라늄 차폐체의 중량은 약 16.1 kg이며, 감손 우라늄을 주조하여 하나의 조각으로 제작되었다. KRI-BGM 운반용기(산업용 B형 벌크용기)에 대한 표면 선량율의 법적 기준은 용기의 over-pack 표면이 되나, KRI-BGM 운반용기에 방사성 동위원소를 적재하기 위한 작업은 over-pack을 제거하고 차폐용기를 가지고 핫셀에서 취급하게 되므로 작업자의 안전을 고려하여 차폐용기만을 대상으로 하여 차폐해석을 수행하여, 실제 운반시의 선량율이 보수성을 가질 수 있도록 하였다. 그림 1은 차폐용기에 대한 차폐해석 모델을 보여주고 있다. KRI-BGM 운반용기에 적재되는 방사성 동위원소인 Ir-192은 디스크 형태인 고체선원 상태로 적재되어 운반되며, Mo-99 및 I-131의 경우 액체선원 상태로 적재되어 운반된다. 액체선원 상태의 방사성 동위원소를 적재하는 내부 캡슐은 직경 39 mm의 내부 빈 공간에 위치하게 되며, 캡슐내의 액체선원의 양은 캡슐의 약 절반정도를 차지한다. 그러나 고체선원의 경우에는 운반하는 선원의 양에 따라 선원이 내부캡슐에 차지하는 부피가 틀려지게 된다. 선량율이 가장 높을 것으로 예상되는 선원이 내부 캡슐의 1/4 차지할 경우와 1/2 경우 두 경우에 대하여 가정하여 차폐 계산을 수행하였다. 따라서 이를 묘사하기 위하여 직경 37 mm, 길이 25 mm의 원기둥 형태의 선원을 가정하여 직경 39 mm, 길이 101 mm 용기 내부의 바닥 면에 놓여있는 것으로 가정하였으며, Ir-192 고체선원의 경우 선원 외부의 구조재인 스테인리스강 및 선원 자체의 밀도를 제외하여 계산의 보수성을 더하였다. Ir-192로부터 발생하는 방사선을 차폐하기 위한 차폐용기는 본체 및 뚜껑으로 구성되어 있다. 차폐용기의 본체 및 뚜껑의 구조재는 3 mm 두께를 가지고 있는 스테인리스강으로 제작되었다. 차폐용기는 본체와 뚜껑을 결합하였을 때 구조재의 외부 제원은 직경 201 mm, 길이 278 mm이며, 내부 제원은 직경 97 mm, 길이 101 mm로서, 구조재 내부에는 방사선의 차폐를 수행하기 위한 감손 우라늄 차폐체가 측면 방향으로 약 46 mm, 뚜껑 방향으로 약 61 mm, 그리고 바닥 방향으로 약 78 mm 두께로 채워져 있으며, 차폐용기 내부 공간에 외부 직경 96 mm, 내부 직경 41 mm, 길이 101 mm의 제원을 가지고 있는 파이프 형상의 텅스텐 차폐체가 놓이게 된다. 선속-선량 환산인자로는 ANSI/ANS-6.1.1자료를 사용 하였다.

표 1은 선원이 용기내부에 1/4 높이로 위치한다고 가정했을 경우의 결과이며, 표 2는 1/2 높이를 가정한 결과이다. 차폐해석결과 Ir-192 10,000 Ci을 운반하는 경우에 표면 선량율이 가장 높은 것을 알 수 있으며, 상부·하부·측면에서의 표면 선량율은 선원이 1/4일 경우 각각 0.456, 0.34 및 1.352 mSv/h이며, 선원이 1/2일 경우 각각 0.526, 0.291 및 1.283 mSv/h이 되었다.

산업용 B형 Bulk 용기에 대하여 실제 Ir-192선원을 이용하여 계산치와 실측치를 비교 평가하였다. 산업용 B형 Bulk용기의 설계 제한치는 Ir-192 10,000 Ci이며, 실제 측정치는 Ir-192 4,500 Ci와 7,500 Ci의 선원을 이용하였다. 4,500 Ci의 경우 선원 저장 캡슐이 3개가 장전되었으며, 각 캡슐은 얇은 디스크 형태의 선원이 100장씩 들어 있다. 디스크의 직경은 3.0 mm, 두께는 0.25 mm이며 각각의 무게는 3.7 g이다. 7,500 Ci의 경우 선원 저장 캡슐은 5개가 이용되었다. 그림 2와 3과 같이 측면 및 상하부 뚜껑에 대하여 측정하였으며, 총 28포인트에 대하여 측정을 수행하였다. 각 측정지점에 대한 결과를 비교 평가한 결과 모든 측정지점에 대하여 선량 제한치를 만족하는 것을 알 수 있으며, 계산치와 비교결과 잘 일치하였다. 실제 측정시 선량이 높게 나온 지점은 측면의 경우 실제 선원이 위치할 것으로 예상되는 높이인 5번, 11, 12, 18, 및 19지점 등이었으며, 용기 뚜껑의 경우 22, 23번 지점에서 다소 선량이 높게 나오는 것을 알 수 있다. 바닥은 대체적으로

낮은 선량율을 보였으며, 차폐 계산의 경우 24번 지점이 상부에서 가장 취약할 것으로 예상하였으나, 실제 측정값의 경우 22,23번 지점에서 가장 선량율이 높게 나왔다.

표 1 산업용 B형 벌크 운반용기 차폐 계산 결과(선원이 1/4일 경우)

Source (Ci)	상 부 (mSv/h)		하 부 (mSv/h)		측 면 (mSv/h)	
	표 면	1m	표 면	1m	표 면	1m
Ir-192 (10,000)	0.456	0.0039	0.340	0.0021	1.352	0.0076
Mo-99 (800)	0.108	0.001	0.041	0.0003	0.313	0.0021
I-131 (1,000)	0.009	0.0001	0.0021	0.00002	0.0252	0.00017

표 2 산업용 B형 벌크 운반용기 차폐 계산 결과(선원이 1/2일 경우)

Source (Ci)	상 부 (mSv/h)		하 부 (mSv/h)		측 면 (mSv/h)	
	표 면	1m	표 면	1m	표 면	1m
Ir-192 (10,000)	0.526	0.0042	0.291	0.0017	1.283	0.0096
Mo-99 (800)	0.126	0.0011	0.035	0.0003	0.285	0.0022
I-131 (1,000)	0.011	0.0001	0.002	0.00001	0.022	0.0002

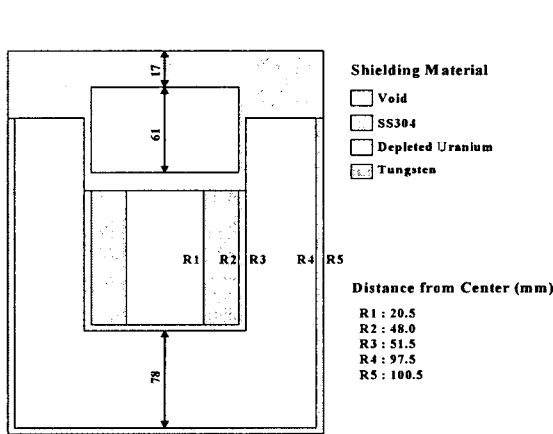


그림 1. 운반용기 차폐 계산 모델.

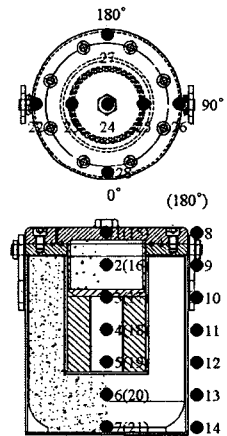


그림 2. 운반용기 선량율 측정 지점

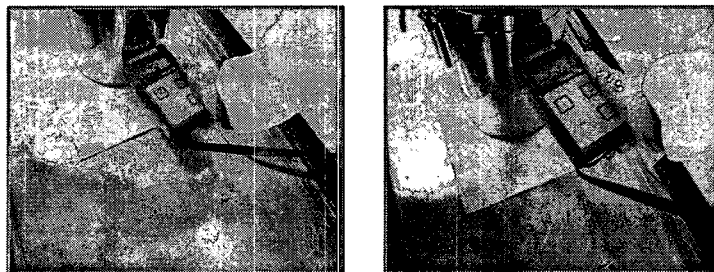


그림 3. 산업용 B형 벌크 용기 선량 측정 모습