

액체 방사성 동위원소 운반용기 적용을 위한 흡수재

Absorbent for Application in a Package for Liquid Radioactive Isotope

방경식, 임성팔, 이주찬, 신희성, 서기석

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

방사성 동위원소를 생산지에서 소비지까지 안전하게 운반하기 위해서는 운반용기를 필요로 하게 되며, 운반용기는 법규에서 규정하고 있는 조건들에 만족하여야 한다. 방사성 동위원소는 액체형태 또는 캡슐(capsule)형태로 제작되어 사용되고 있으며 운반 내용물이 액체인 A형 운반용기는 두 개의 격납경계 또는 흡수물질을 포함한 하나의 격납경계를 가져야 하며, 흡수물질은 내용물의 두 배를 흡수할 수 있는 용량이어야 한다고 명시하고 있다. 따라서 액체형태의 방사성 동위원소를 운반하기 위한 운반용기에 적용할 흡수재를 평가하였다.

Abstract

A shipping package needs to safely transport from producing center to consuming center. The shipping package has to be met for conditions as prescribed by law. Radioactive isotope is used as liquid form or capsule form. A Type A package, which is to transport liquid radioactive materials, shall be provide with a containment system composed of primary inner and secondary outer containment components or shall be provided with sufficient absorbent material to absorb twice the volume of the liquid contents. Accordingly, an absorbent material to apply to the shipping package, which is to transport liquid radioactive isotope, was estimated.

1. 서 론

방사성 동위원소(Radioactive Isotope)는 산업, 의료, 식품, 농업분야 등에 걸쳐서 광범위하게 사용되고 있으며, 각 분야의 발전과 더불어 지속적으로 증대될 것으로 예상되고 있다.

선진국에서는 원자력에너지 이용이 성숙기에 접어들면서 방사성 동위원소의 이용개발을 활발히 추진하고 있으며, 우리나라에서도 이용이 꾸준히 확대되는 추세로, 국내 방사성 동위원소 이용기관의 수가 1990년 698개 기관에서 2000년 1,692개 기관으로 약 2.5배 증가하였으며, 2001년에는 1,822개 기관으로 130개 기관이 증가하였다.

우리나라는 2010년까지 방사성 동위원소 관련 산업을 국가 중점사업의 하나로 육성하여 발전 대 비발전 비중을 매출액 기준으로 7:3의 수준으로 증대시키기 위하여, 방사성 동위원소의 안정적 생산 기반을 구축하고, 생산단계에서 소비단계까지의 유통체계를 확립하여 국산화율을 2000년 4%에서 2006년 25%로 제고하기 위하여 2001년 7월 제2차 방사선 및 방사성 동위원소 이용 진흥계획을 수립하여 추진하고 있다[1].

방사성 동위원소의 이용개발을 제고하기 위해서는 방사성 동위원소의 생산 확대와 더불어 생산단계에서 소비단계까지의 운반체계를 확립하는 것이 무엇보다 중요하다. 미국의 경우에 있어서는 2000년 기준으로 방사성 물질의 운반 중 의료용 방사성 동위원소의 운반이 전체의 62%나 차지할 정도로 방사성 동위원소의 운반체계가 잘 확립되어 있으며 [2], 국내도 마찬가지로 2000년 기준으로 방사성 동위원소의 운반건수는 무려 58,935건으로 방사성 폐기물 운반건수 756건의 약 80배에 이를 정도로 많은 운반을 하고 있다[3].

국내에서 생산되는 방사성 동위원소는 연구용 원자로인 하나로에서 생산되는 방사성 동위원소인 I-131, Ir-192, Co-60, Mo-99 및 Tc-99m 등이 있으며, 원자력 의학원의 싸이크로트론에서 생산되는 방사성 동위원소인 I-123, Ga-67 Tl-201 및 F-18 등이 있다.

국내에서 생산되는 이들 방사성 동위원소는 주로 의료용과 산업용으로 사용되고 있으며, 의료용으로 사용되는 방사성 동위원소는 액체형태 또는 캡슐(capsule)형태로 제작되어 사용되고 있다.

방사성 동위원소를 생산지에서 소비지까지 안전하게 운반하기 위해서는 운반용기를 필요로 하게 되며, 운반용기는 과학기술부 고시 제 2001-23호, IAEA Safety Standard Series No. TS-R-1 및 US 10 CFR Part 71 등에서 규정하고 있는 조건들에 만족하여야 한다[4~6]. 이들 국내·외 관련법규에서는 운반 내용물이 액체인 경우 운반용기는 두 개의 격납경계 또는 흡수물질을 포함한 하나의 격납경계를 가져야 하며, 흡수물질은 내용물의 두 배를 흡수할 수 있는 용량이어야 한다고 명시하고 있다.

방사성 동위원소를 사용하는 사용자들은 가능하다면 간결하게 제작되어 사용하기 편한 운반용기를 바라고 있다. 그렇다면, 두 개의 격납경계로 구성된 운반용기 보다는 흡수물질과 하나의 격납경계로 구성된 운반용기가 보다 간결하게 제작될 수 있을 것이며, 사용하기에도 편리할 것이다. 따라서 액체형태의 방사성 동위원소를 운반하기 위한 운반용기에 적용할 흡수재를 평가하였다.

2. 흡수재 실험

2.1 흡수재

액체 흡수재로 사용되는 재질로는 filter paper, facial tissue, cellulose acetate sponge, polyurethane sponge, wood pulp fluff, cotton ball 및 흡수성 폴리머 등이 있다.

이들 중 filter paper 및 facial tissue 등은 물 흡수력이 1.8 g/g 및 4.0 g/g 등으로 낮은 흡수율을 보여주고 있으며, polyurethane sponge 및 흡수성 폴리머 등은 10.5 g/g 및 100 ~ 1,000 g/g 등으로 비교적 높은 흡수율을 보여주고 있다. 따라서 흡수율이 낮은 재질은 제외하고, 비교적 흡수력이 높은 것으로 알려져 있는 친수성 polyurethane sponge 및 흡수성 폴리머, 그리고 magic block으로 잘 알려져 있는 멜라닌 폼을 채택하여 흡수재 실험을 수행하였다.

2.2 실험 방법

방사성 동위원소 I-131과 I-123은 NaOH(수산화나트륨) 약 0.4 %(0.1 mol)인 액체에, Tl-201은 Na 0.9 %인 액체에 용해된 상태로 운반된다. 따라서 흡수재 실험을 수행하기 위한 액체로는 NaOH 0.4 %인 수산화나트륨수와 Na 0.9 %의 식염수를 적용하였다.

친수성 polyurethane sponge 및 멜라닌 폼은 다음과 같은 방법으로 수산화나트륨수에 대해 3회, 식염수에 대해 3회씩 실험을 수행하였다.

- i) 적정한 비율의 크기로 각각 3 개씩 자른다.
- ii) 각각 시편의 무게를 측정한다(그림 1).
- iii) 액체(수산화나트륨수 또는 식염수)에 담근다.
- iv) 시편이 충분히 액체를 흡수한 후 무게를 측정한다.

그러나 흡수성 폴리머는 분말 형태로 되어있기 때문에 다음과 같은 방법으로 친수성 polyurethane sponge 및 멜라닌 폼의 경우와 같이 수산화나트륨수에 대해 3회, 식염수에 대해 3회씩 실험을 수행하였다.

- i) 비이커에 폴리머를 담아 무게를 측정한다.
- ii) 비이커에 액체(수산화나트륨수 또는 식염수)를 부어 무게를 측정한다(그림 2).
- iii) 폴리머가 충분히 액체를 흡수하도록 약 1시간 정도 그대로 놓아둔다.
- iv) 약 1시간 경과 후 체(sieve)에 액체를 흡수한 폴리머를 쫓는다(그림 3).
- v) 체를 통해 밑으로 액체가 충분히 떨어지도록 약 1시간 정도 그대로 놓아둔다.
- vi) 체를 통해 밑으로 떨어진 액체의 무게를 측정한다.

3. 결과 및 토의

표 1은 NaOH 0.1 mol인 수산화나트륨수의 경우 흡수재별 흡수력을 보여주고 있다. 표 1에서 보면 흡수력은 친수성 polyurethane sponge가 약 20으로 가장 낮게 나타났고, 멜라닌 폼이 약 91로 가장 높았으며, 흡수성 폴리머의 경우는 약 73으로 나타났다.

표 2는 Na 0.9 %인 식염수의 경우 흡수재별 흡수력을 보여주고 있다. 여기에서도 NaOH 0.1 mol인 수산화나트륨수의 경우와 마찬가지로 친수성 polyurethane sponge가 약 18로 가장 낮은 흡수력을 보여주고 있으며, 멜라닌 폼이 약 88로 가장 높게 나타났고, 흡수성 폴리머의 경우는 약 58로 나타났다.

흡수력과 함께 살펴보아야 할 것은 흡수속도와 흡착력이다. 흡수속도는 멜라닌 폼이 가장 빨랐다. 멜라닌 폼은 액체와 접촉되는 순간 바로 액체를 흡수하며 액체가 담겨있는 비

이커 속으로 빨려 들어갔다. 친수성 polyurethane sponge는 멜라닌 폼보다 다소 늦지만 빠른 흡수속도를 보여주었다. 흡수성 폴리머의 경우는 물의 경우는 상당히 빠르지만 수산화나트륨수와 식염수의 경우는 상당히 느려 흡수성 폴리머가 자기 흡수력대로 모두 흡수하기까지는 상당한 시간이 소요되었다.

흡착력의 경우는 어떠한 외부 압력이 주어지지 않는 경우는 멜라닌 폼이 매우 우수하였으며, 친수성 polyurethane sponge는 물이 떨어져 흡착력에 있어서 다소 떨어지는 모습을 보여주었고, 흡수성 폴리머는 물의 경우는 빠른 속도로 고화되는 것을 볼 수 있었지만 수산화나트륨수와 식염수의 경우는 분말이 겔 타입으로 되어 흡착력을 평가하기 다소 어려웠으며, 외부 압력이 주어질 경우는 흡수성 폴리머가 가장 좋았다.

그림 4는 액체의 종류에 따른 흡수재의 흡수력을 보여주고 있다. 여기에서 보면 NaOH 0.1 mol인 수산화나트륨의 경우보다 Na 0.1 %인 식염수의 경우가 흡수력이 떨어짐을 알 수 있다. 따라서, 액체 방사성 동위원소 운반용기에 적용할 흡수재를 설계하기 위한 기준으로는 흡수력이 떨어지는 Na 0.9 %인 식염수의 경우를 적용하여 흡수재를 설계한다면 I-131, I-123 및 Tl-201도 운반할 수 있으므로 바람직한 방향이 될 것이다.

액체 방사성 동위원소를 운반하기 위한 운반용기에 적용할 유리병(vial)은 12 ml 용으로 병목까지 액체를 가득 채울 경우 액체의 중량은 12.8 g이었다. 따라서, 액체의 두 배인 25.6 g 이상으로 흡수재를 설계하면 국내·외 관련법규에서 규정하고 있는 흡수재의 조건을 만족시킬 수 있다.

표 3 및 그림 5는 Na 0.9 %인 식염수 25.6 g 적용 시 흡수재의 중량 및 체적을 나타내고 있다. 법규에서 만족하는 조건의 흡수재를 적용하였을 때 중량은 멜라닌 폼이 가장 가볍고, 친수성 polyurethane sponge가 가장 무거운 반면, 체적은 흡수성 폴리머가 가장 작고 멜라닌 폼이 가장 컸다. 그것은 멜라닌 폼은 흡수력은 좋지만 밀도가 낮아 가장 작은 중량에도 불구하고 체적이 가장 큰 것이며, 친수성 polyurethane sponge는 밀도는 흡수성 폴리머보다 낮지만 흡수력이 좋지 않아 가장 무거운 중량과 비교적 큰 체적이 요구되는 것이고, 흡수성 폴리머는 밀도는 높지만 비교적 흡수력도 좋기 때문에 중량이 가벼우며 또한 체적이 적은 것이다.

실험결과만 놓고 본다면 흡수성 폴리머가 가장 적합한 소재로 판단된다. 그러나, 흡수성 폴리머는 분말 형태로 액체 방사성 동위원소 운반용기에 적용을 하기 위해서는 적당히 성형되어야 한다. 예를 들어 위생용품으로 사용되는 아기 기저귀와 같이 용도에 맞게 성형을 필요로 하게 된다. 또한, 흡수성 폴리머는 액체 흡수 시 체적 팽창이 발생하지만 체적이 팽창할 때 팽창할 만큼의 공간이 충분히 주워 지지 않는다면 팽창을 하지 못해 자기 흡수력만큼 흡수를 하지 못하기 때문에 충분한 팽창공간을 마련해야만 한다.

따라서, 비교적 체적은 다소 크지만 흡수력 및 흡착력이 좋고, 또한 성형성도 좋은 멜라닌 폼을 액체 운반용기의 흡수재로 적용하는 것이 가장 바람직할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 과학기술부, “원자력관련 주요현황 및 통계자료”, 2002.
- [2] Brookhaven National Laboratory, “Transportation”, 2000.

- [3] 과학기술부, “2000년도 제6회 원자력산업실태조사”, 2001.
- [4] 과학기술부 고시 제 2001-23호, “방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정”, 2001.
- [5] IAEA Safety standard Series No. TS-R-1, “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material”, 2000 Ed.
- [6] U.S. Code of Federal Regulations, Title 10, Part 71, “Packaging of Radioactive Material for Transport and Transportation of Radioactive Material under Certain Conditions”, as revised in Federal Register, Vol. 48, No. 165, 1983.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발 사업의 일환으로 수행되었음.

표 1. NaOH 0.1 mol 수산화나트륨수의 경우 흡수재별 흡수력

흡 수 재		중 량(g)		흡수력(g/g)	평 균 흡수력(g/g)
		흡수재	액체 흡수후		
친수성 Polyurethane Sponge (티엔엘)	1	0.64	13.48	21.2	19.8
	2	1.22	23.24	19.1	
	3	1.94	37.18	19.2	
멜라닌 폼 (바스프)	1	0.09	8.69	92.8	91.2
	2	0.17	15.83	91.3	
	3	0.27	24.42	89.6	
흡수성 폴리머(코오롱 유화)	1	0.30	22.49	75.0	72.7
	2	0.60	43.77	73.0	
	3	1.00	70.14	70.1	

표 2. Na 0.9% 식염수의 경우 흡수재별 흡수력

흡 수 재		중 량(g)		흡수력(g/g)	평 균 흡수력(g/g)
		흡수재	액체 흡수후		
친수성 Polyurethane Sponge (티엔엘)	1	0.65	12.97	20.1	18.3
	2	1.15	20.40	17.8	
	3	2.01	34.08	17.0	
멜라닌 폼 (바스프)	1	0.07	5.91	89.2	88.4
	2	0.15	12.66	87.5	
	3	0.34	30.19	88.6	
흡수성 폴리머(코오롱 유화)	1	0.30	18.99	63.3	58.1
	2	0.60	32.62	54.4	
	3	1.00	62.90	56.7	

표 3. 액체 방사성 동위원소 운반용기 적용을 위한 흡수재의 중량 및 체적

흡수재	구분	밀도(g/cm ³)	흡수력(g/g)	식염수 25.6 g 적용 시	
				중량(g)	체적(cm ³)
친수성 Polyurethane Sponge		0.065	18.3	1.40	21.5
멜라닌 폼		0.011	88.4	0.29	26.3
흡수성 폴리머		0.6~0.8	58.1	0.44	0.73



그림 1. 멜라닌 폼 무게.



그림 2. NaOH 무게.



그림 3. 체에 쏘은 폴리머.

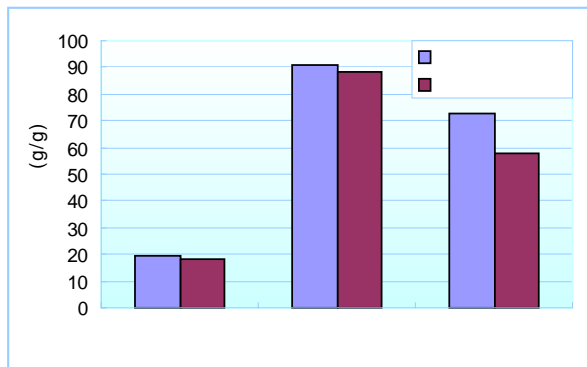


그림 4. 액체의 종류에 따른 흡수재의 흡수력.

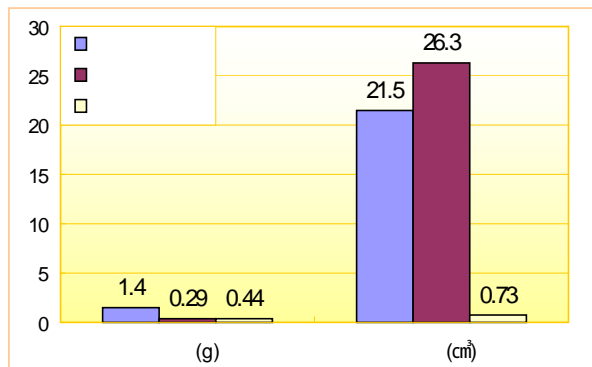


그림 5. 흡수재의 중량 및 체적.