

방사성 피부오염의 제염법에 관한 연구 (I)

전계근, 지평국, 안병길, 박종묵

한국원자력연구소

요 약

원자력시설 및 동위원소 이용기관에서의 인체오염사고에 대비하여, 피부제염기준을 조사하였으며, 피부제염제의 개발을 위하여 실험용 쥐를 대상으로 Co-60 및 Cs-137에 대해 비눗물, EDTA 및 KAERI-CON의 제염효과를 비교하였으며, 가장 효율적인 제염방법을 제시하였다. 각 제염제의 제염실험결과 Co-60 보다 Cs-137에 대한 제염이 더 잘 이루어졌으며, 제염횟수의 증가에 따라 방사능잔류율도 급격히 낮아졌다. KAERI-CON은 Co-60의 경우 38-55%, Cs-137의 경우에는 44-50%까지 제염효과를 보임으로서 타 제염제보다 효과적임을 확인하였다.

1. 서론

최근 원자력시설 및 동위원소 취급기관의 증가로 인하여 방사성물질의 취급기회가 늘어나고 있으며, 이로 인한 인체오염사고의 가능성도 증가하고 있다.

방사성물질에 의한 인체오염이 발생하게 되면, 방사성핵종들은 시간이 경과함에 따라 인체표면에 견고하게 고착되며, 특히 땀을 동반한 작업의 경우 방사성물질이 땀구멍을 통해 피부내부로 흡수되어 제염효율이 떨어지게 된다. 따라서 인체오염사고가 발생한 경우에는 가능한 한 빨리 제염이 실시되어야 한다.

연구기관, 교육기관 등에서 사용되는 방사성핵종 중에서 인체오염이 발생할 수 있는 주요 핵종은 Co-60 과 Cs-137로서, 이들 핵종에 대한 효과적인 피부제염제와 제염방법의 개발이 시급하다. 따라서 본 연구에서는 방사성 인체오염이 발생한 경우의 피부제염기준을 조사하였으며, 또한 실제 방사성 인체오염 발생시 적용될 수 있는 제염제의 개발을 위하여, 실험용 쥐를 대상으로 Co-60 과 Cs-137에 대해 기존의 비눗물, EDTA 등의 제염제 및 피부제염제로 개발된 KAERI-CON[1]을 이용하여 각 제염용제의 제염효과를 비교하였으며, 가장 효율적인 제염방법을 제시하였다.

2. 피부오염기준치 권고안

피부오염발생시 오염을 완전히 제거하여야 한다는 것이 일반적인 통념이었으나, 과도한 제염은 오히려 피부의 손상을 일으켜 오염을 고정화 시키며 상처를 통하여 인체내부피폭을 일으키는 것

으로 밝혀졌다. 이를 방지하기 위한 피부선량제한치는 전신선량을제한치로 부터 구할 수 있다.

ICRP 26 (1977)권고치에 의하면, 피부에 대한 작업자피폭제한치는 0.3 Sv이며, 피부에 대한 2차적인 유도선량은 피부방사능 값을 선량율로 전환시키는 선량인자를 이용하여 상기값으로 부터 유도된다[2].

표1에 여러 베타핵종에 대한 피부선량율인자(skin dose-rate factor)를 나타내었는데, 이 값은 오염핵종이 피부내부로 확산되지 않는다는 가정하에서 결정되었다[3]. 이들 값은 1Bq/cm²의 오염에 대하여 피하 50-100μm 깊이에서의 평균선량당량을 나타낸다. 그리고 2.1. 과 2.2. 항의 기준값들은 Schieferdeker 등의 자료를 정리한 것이다[4].

표 1. 베타핵종에 대한 피부선량인자

핵종	피부선량인자(Sv/Bq/cm ²)
C-14	8.3 x 10 ⁻⁹
Co-60	2.4 x 10 ⁻¹⁰
Sr-90	3.9 x 10 ⁻¹⁰
Y-90	4.2 x 10 ⁻¹⁰
I-131	3.7 x 10 ⁻¹⁰
Cs-137	3.7 x 10 ⁻¹⁰
Ce-141	3.3 x 10 ⁻¹⁰

2.1. 년 일회 피부오염에 대한 유도한도치

오염 발생 후 피부오염이 즉시 안전하게 제거된다면, 제거 가능한 일회오염제한치(limits on one immediately removable skin contamination)는 피부선량제한치, 최대영향시간, 피부선량율인자 등으로 부터 결정된다. 대부분의 경우 오염발생 후 즉시 제염이 이루어지므로 1일을 최대 영향시간으로 가정하여, 0.3 Sv의 피부선량율을 주는 일회오염제한치를 계산할 수 있다.

같은 방법으로 연간제한치는 제염작업으로 제거되지 않는 방사능에 대하여 결정된다. 표2에 년 1회 피부오염에 대한 즉시제거가능한 피부오염제한치와 제거불가능한 피부오염제한치가 나타나 있다. 표2의 값은 평균적인 표피와 각질의 재생주기가 각각 18일과 13일이며, 고착된 방사능은 1주일후에 완전히 제거된다는 가정하에서 계산되었다[5].

표 2. 베타핵종에 대한 년 1회 피부오염제한치

핵종	즉시 제거가능한 1회 피부오염제한치(Bq/cm ²)	제거불가능한 1회 피부오염제한치(Bq/cm ²)
C-14	4.2 x 10 ⁴	6.0 x 10 ³
Co-60	1.5 x 10 ⁴	2.1 x 10 ³
Sr-90	8.9 x 10 ³	1.3 x 10 ³
Y-90	9.4 x 10 ³	2.6 x 10 ³
I-131	9.8 x 10 ³	1.8 x 10 ³

Cs-137	9.4×10^4	1.3×10^3
Ce-141	1.1×10^4	2.3×10^3

2.2. 피부제염에 대한 제한치

인체에 대한 방사선안전관리를 위하여, 제염작업시 적용될 수 있는 연간선량제한치의 분율로써 적용되는 기준치가 필요하며, 피부오염에 대한 기준치는 연간 피부선량제한치의 1/100이 적용된다(독일). 이값은 조사기준치의 정의로 ICRP 26(1977)에 제안된 선량당량값의 1/20이며[3], 불규칙 피부오염, 표피내부로의 확산 등으로 인한 선량평가의 불확실성 등이 고려되었다. 충분한 제염시도 후 잔류방사능이 표 3의 값 이하로 유지되면 별도의 제염조치가 필요치 않으나, 표3의 값 이상일 경우에는 추가적인 적절한 제염이 이루어져야 한다.

표 3. 베타핵종에 대한 피부오염기준치

핵종	피부오염기준치(Bq/cm ²)
C-14	60
Co-60	21
Sr-90	13
Y-90	26
I-131	18
Cs-137	13
Ce-141	23

3. 피부제염실험

3.1. 실험방법

가. 시약 및 실험용 쥐 준비

생후 9-10주의 Sprague Dawley 실험용 쥐를 준비하였으며, 실험도중 쥐의 움직임을 방지하기 위하여 50mg/ml의 Ketamine Hydrochloride 0.1ml를 주사하여 마취시켰다. 전기면도기로 등쪽의 털을 깎아낸 후, 직경 1 cm 크기의 원을 펜으로 표시하였다.

10 μ Ci/ml 농도의 Co-60 및 Cs-137를 10ml 준비하여, 각각 10 μ l를 쥐의 등 표면에 표시된 원가운데에 떨어뜨렸다. 한가지의 실험당 3마리의 시료를 준비하였다. 제염제로는 Ivory 비누, 5% EDTA, KAERI-CON을 이용하였는데, KAERI-CON은 오염된 물체의 표면을 제염하기 위하여 원자력환경관리센터 제염해체기술개발분야에서 개발된 clay suspension으로, 인체피부오염의 적용을 위하여 사용하였다. KAERI-CON은 Na⁺ 형태의 clay suspension으로서, Cs이온과의 이온교환능을 높이기 위하여 NH₄⁺를 첨가하여 제조되었다[1].

나. 피부제염

Co-60 및 Cs-137로 오염된 쥐의 피부표면을 20분간 건조시킨 후, HPGe Coaxial detector를

이용하여 50 초간 방사능을 측정하였다. 방사능 측정시 측정 geometry를 균일하게 하기 위하여 계측기 상부에 rotator를 설치하여 6회/분의 속도로 회전시켜 측정하였다.

각 제염제의 특성을 고려하여 제염방법 A와 제염방법 B로 구분하여 제염실험을 하였다. 제염방법 A는 비누로 제염 후 KAERI-CON을 적용하였고, 제염방법 B는 비누로 제염 후 EDTA로 제염을 하였으며, 그후 다시 KAERI-CON으로 제염을 시도하였다.

제염방법 A의 경우, 대부분의 인체오염이 발생하게 되면 비눗물로 먼저 세척하게 되므로, 최초 피부오염 후 30분이 경과한 후 부드러운 솔을 이용하여 오염된 쥐의 피부표면을 비눗물로 2분간 세척한 후 종이타월로 물기를 닦아내고 방사능을 측정하여 제염효율을 구하였다. 피부표면에 고착된 잔류방사능의 제거를 위하여 KAERI-CON을 오염부위에 도포하여 50분간 짐착시킨 후 제거하여 방사능을 측정하였다.

제염방법 B의 경우도 제염방법 A와 같은 방법으로 최초오염후 30분이 지난 후 오염된 쥐의 피부표면을 비누로 2분간 세척한 후 종이타월로 물기를 닦아내고 방사능을 측정하였다. EDTA를 사용하여 2분간 제염을 하여 방사능을 측정한 후, KAERI-CON을 오염부위에 도포하여 50분간 짐착시킨 후 제거하여 방사능을 측정하였다. 같은 실험을 3회 반복하여 측정값을 평균하였다.

3.2. 실험결과

Co-60과 Cs-137에 대하여 각 제염제의 제염효과 결과를 표4에 나타내었다. 표 4에 의하면, 최초 비눗물제염 결과 방사능잔류율은 Co-60의 경우 57.4-59.9%, Cs-137의 경우는 40.6-45.2%로, Co-60에 대한 제염효과가 Cs-137의 경우보다 낮게 나타났다. 이는 Co⁺²와 Cs⁺¹의 피부흡착력 차이에 기인한다. 또한 EDTA 제염결과 방사능잔류율은 Co-60과 Cs-137의 경우 각각 41.5% 및 35.8%로서 낮은 제염효율을 나타내었다. KAERI-CON에 의한 제염결과 방사능잔류율은 Co-60의 경우 제염방법 A와 제염방법 B 각각 35.6% 및 18.9% 이었으며, Cs-137의 경우 제염방법 A와 제염방법 B 각각 25.2% 및 17.8%이었는데, 이는 잔류방사능을 Co-60의 경우 38-55%, Cs-137의 경우 44-50% 까지 제거할 수 있었음을 나타낸다. KAERI-CON을 도포하게 되면 clay suspension의 용액은 피부의 미세한 모공으로 스며들어 증발하게 되는데, 이때 모공이나 피부표면에 짐착된 핵종들은 용액속의 NH₄⁺ 양이온과 이온교환되어 제거되어 높은 제염율을 보이게 된다. 이온교환된 방사성핵종은 도포된 clay층 뒷쪽으로 확산된다[1].

표4. 각 제염제에 대한 잔류방사능 결과

오염핵종	제염방법	제염제	방사능잔류율(%)
Co-60	A	비누	57.4
		KAERI-CON	35.6
	B	비누	59.9
		EDTA	41.5
Cs-137	A	비누	45.2
		KAERI-CON	25.2

B	비누	40.6
	EDTA	35.8
	KAERI-CON	17.8

4. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 피부오염에 대한 제한값을 설정함으로써 방사성오염자에 정신적인 불안감을 주지 않는 상태에서 제염을 실시하며, 또한 불필요한 제염을 방지하고자 하였다. 실험용 쥐의 표피를 방사성핵종으로 오염시켜 비누, EDTA, KAERI-CON의 제염효율을 구하였는데, 특히 KAERI-CON은 Co-60 및 Cs-137에 대하여 높은 제염효과를 나타내었다.

지금까지의 연구는 Co-60과 Cs-137에 국한되어 있었으나, 실제로 원자력시설이나 병원에서 이용되고 있는 방사성핵종 중 인체오염을 유발할 수 있는 핵종은 Mn-54, Tc-99, H-3등을 포함하여 많은 핵종들이 있다. 이러한 인체오염발생에 대비하기 위하여, 여러 가지 오염의 유형과 이에 따른 제염제의 개발 및 제염방법에 대한 연구가 계속되어야 한다.

참고문헌

1. B. G. Ahn, H. J. Won, W. Z. Oh, Decontamination of Building Surface Using Clay Suspension, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 32, No. 8, pp.787-793, Aug, 1995.
2. ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26, Annals of the ICRP, 1977.
3. Henrichs K., Einberweiser C. & Paretzke H. G., Dosisfaktoren bei der Haut und der Kleidung, GSF-Bericht 7/85, S-1285, 1985.
4. Schieferdecker H., Koelzer W., Henrichs K., Proposed Derivation of Skin Contamination and Skin Decontamination limits, Proceedings of Workshops on Radiation Damage to Skin : Fundamental and Practical Aspects, pp.141-145, 1985.
5. ICRP, Reference Man : Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics, ICRP Publication 23, 1975.