

중성자 피폭 방향에 따른 인체 뼈 조직의 Ca 방사화를 평가

김정인, 이병일, 임영기, 김종순

한국수력원자력(주) 방사선보건연구원, 서울 도봉구 쌍문3동·388-1

핵 임계사고 또는 이와 유사한 중성자 과 피폭사고의 발생 가능성이 있는 원자력 및 방사선 관계 종사자는 작업에 앞서 정확한 피폭선량을 산출하기 위한 목적으로 다양한 형태의 선량계 착용을 권고하고 있다. 그러나 예기치 못한 중성자 피폭사고의 발생에 따른 피폭자의 선량평가를 위해서는 일반적으로 체내 안정원소의 방사화를 평가하는 방법이 다른 중성자 선량평가 방법들과 더불어 널리 사용되고 있다. 이러한 인체 방사화를 이용한 중성자 선량평가의 대표적인 핵종으로는 전신에 고루 분포하고 상대적으로 계측이 용이한 ^{24}Na 나 피폭 중성자장 특성 분석 목적의 ^{32}P 등을 들 수 있다. 그러나 전신에 고르게 분포하는 Na의 측정만으로는 중성자 피폭의 방향성 평가에 한계를 갖는다. 따라서 이러한 방향성 평가를 위해서는 상대적으로 99% 이상이 인체 내 뼈 부분에만 존재하는 Ca 원소의 방사화 분석과 같은 다른 형태의 평가 절차가 요구된다.

1970년대 이후 Brookhaven National Laboratory(BNL)에서는 인체 내 존재하는 다양한 핵종의 분석 및 계측관련 연구를 수행하고 있다. 전신에 분포하는 핵종의 경우 REMCAL 피폭체 내부에 인체등가 용액을 채워서 방사화율 및 계측기 교정상수 등을 구하게 되는데 Ca의 경우는 대부분이 뼈에 존재하기 때문에 Yasumura 등(1997)은 효율적인 계측을 목적으로 BOMAB 피폭체 내부에 인체의 뼈에 해당하는 구조물을 추가적으로 배치한 변형된 BOMAB 피폭체를 새롭게 구성하였다. 표 1은 변형된 BOMAB 피폭체의 외형 및 주요골격의 크기를 나타낸다.

본 연구에서는 중성자 피폭에 따른 방향별 방사화율 평가를 목적으로 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 앞서 언급된 변형된 형태의 BOMAB 피폭체내 뼈 구조물의 Ca의 방사화율을 피폭 방향별(AP, PA, LAT)로 평가하였다.

피폭체내 뼈 구조물질은 실제 방사화 실험에서는 조직등가물질을 사용하게 되나 기하학적 특성만을 고려하기 위하여 ICRP23에서 제공하는 조직데이터의 인체의 뼈와 동일한 물질로 평가하였으며 BOMAB 피폭체 내부는 순수한 물로 채웠고 Polyethylene에 해당하는 외벽 역시 물로 가정하여 생략하였다. 시뮬레이션 코드는 MCNPX 2.5를 사용하였으며 중성자 반응단면적은 LLNL의 ACTL을 사용하였다. 방사화율은 MCNPX 코드 내 FM 카드를 이용하여 기 산출된 특정 cell 내의 중성자 flux와 반응단면적을 연계하여 평가하였다. 중성자 에너지는 $10^{-8}\sim 1.5\times 10^1$ MeV 영역에

Table 1. Dimensions of the male modified BOMAB phantom, 170cm(height).

Section	a (cm)	b (cm)	c (cm)	Skeletal parts	
				Dimension(cm) thickness ×width or a×length or b of ellipse	Length (cm)
Head	14	19	20	-	-
Face	-	-	-	0.635×49.5×18.4	-
Cap	-	-	-	0.635×6.5a×9.3b	-
Neck	13	13	10	-	9.29
Chest	20	30	40	-	39.85
Full rib	-	-	-	0.476×74.0×1.91	-
Half rib	-	-	-	0.476×37.0×1.91	-
Sternum	-	-	-	0.476×3.18×23.7	-
Pelvis	20	36	20	0.635×57.2×18.0	-
Arm	10	10	60	-	57.15
Thigh	15	15	40	-	39.85
Leg	12	12	40	-	38.74

대하여 11개 구간으로, 방향은 AP, PA, LAT의 세 방향에 대하여 시뮬레이션을 실시하고 그 결과를 그림 1에 나타내었다.

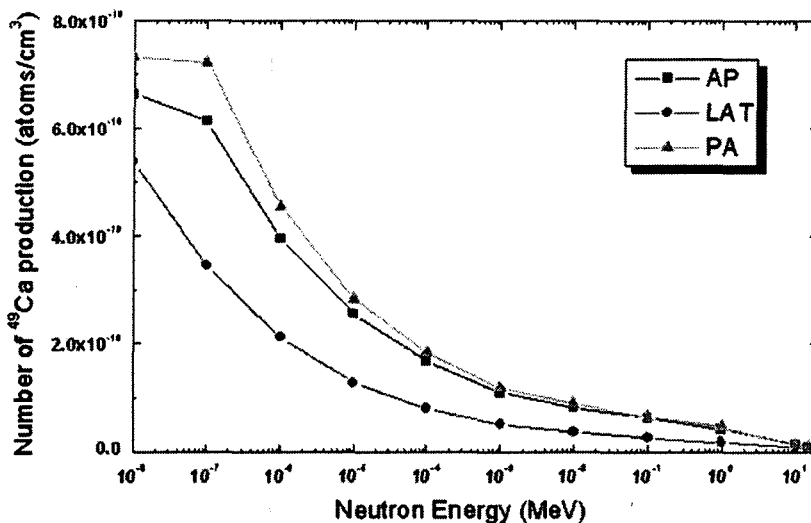


Fig 1. Number of ⁴⁹Ca produced as a result of (n,γ) capture with ⁴⁹Ca in skeletal parts of the modified BOMAB phantom by Monte Carlo simulation.

평가결과 PA방향에서 가장 높은 방사화율을 나타내는 것으로 평가되었고 가장 적은 방사화율을 갖는 LAT의 경우 최대 값에 비하여 약 40% 정도 저 평가됨을 확인할 수 있다. 이는 실제 사고 시 선량평가에 있어 인체 방사화를 이용하여 평가하는 경우 피폭방향이 피폭선량을 산출하는데 중요한 요인임을 알 수 있다.

향후 추가적인 연구를 통하여 voxel 피폭체와의 비교 및 피폭 방향에 따른 인체 부위별 방사화율 평가 등을 수행할 예정이며 실제 다양한 중성자 조사실험을 통한 평가결과의 활용가능성에 대한 검토가 요구된다.