

감마분광분석에서 ^{40}K 의 방사능 농도 및 검출기 효율에 따른 MDA 변화

임충섭^{1,2*}, 김창종², 지영용², 이완로², 정근호², 최근식², 강문자², 서경석²

¹과학기술연합대학원대학교, 대전광역시 유성구 가정로 217

²한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*lunareclipz@naver.com

1. 서론

최소검출농도(Minimum Detectable Activity, MDA)는 Currie에 의해 제안된 검출한계치(Lower Limits of Detection, LLD)에 효율, 시료량, 측정 시간 등 방사능 농도에 영향을 주는 모든 인자를 고려하여 방사능의 존재를 판단하는 값이다. 목표하는 MDA를 낮추기 위해서는 경제적 사회적 비용이 소요되기 때문에 시료의 종류 및 분석의 목적에 따라 적절한 MDA를 설정하는 것이 합리적이다.

후쿠시마 사고 발생 이후 국내에서는 각종 농·식품의 방사성 물질 오염에 대한 불안감이 야기 되었으며, 인공방사성 핵종인 ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I 을 대상으로 많은 감마분광분석이 이루어져 왔다. 천연방사성핵종인 ^{40}K 은 지각뿐만 아니라 사람을 포함한 모든 생명체에 존재한다. 위 인공방사성 핵종들은 ^{40}K 보다 낮은 에너지대에 주 감마선 피크가 존재하여 ^{40}K 의 컴프턴 연속의 영향을 받는다. 감마핵종 분석시 농·식품의 경우 ^{40}K 보다 높은 에너지대에 있는 천연방사성핵종의 존재는 극히 작으며, 주로 시료 자체가 가지고 있는 ^{40}K 농도에 따라 위 인공핵종들의 백그라운드 에 가장 큰 영향을 준다. 일반적으로 농·식품의 경우 건조 상태에 따라 10~3000 Bq/kg의 농도 범위를 갖는다.

본 연구에서는 감마핵종 분석시 MDA에 영향을 미치는 조건 중 ^{40}K 에 따른 백그라운드 변화와 측정 효율, 측정시간에 따른 ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I 핵종의 MDA 변화를 확인 하였으며, 농도별 ^{40}K 의 시료와 다른 효율의 감마선 검출기를 사용하였다. 이를 반영하여 효율, 시료량, 측정시간, MDA 간의 관계를 제시 할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 본론

2.1 재료

^{40}K 의 농도를 조절하기 위해서 순도 99.5%의 고체 KCl 시약을 사용하였으며, 시료의 기하구조가 1L의 Marinelli Beaker가 되도록 탈이온수를 사용

하여 용해시켰다. 사용한 검출기는 상대효율 30%의 High Purity Germanium(HPGe, advanced Measurement Technology Inc, USA) p-type 검출기, 상대효율 45%의 High Purity Germanium(HPGe, advanced Measurement Technology Inc, USA) n-type 검출기이다.

2.2 방법

KCl 시약을 탈이온수에 용해시킨 후 1L Marinelli Beaker의 기하구조에 맞게 희석하는 방식으로 ^{40}K 의 시료를 만들었다. 총 6개의 농도 조건을 만들기 위해 각각 6.11 g, 12.2 g, 30.4 g, 60.5 g, 121 g, 182 g의 KCl 시약을 사용하였으며, 자연존재비 0.0117%로 하여 계산한 방사능 농도는 약 101 Bq, 201 Bq, 502 Bq, 1000 Bq, 2004 Bq, 3002 Bq이다. 실제 감마분광 분석한 ^{40}K 의 방사능 농도는 각각 103 ± 2.1 Bq, 204 ± 2.8 Bq, 557 ± 4.6 Bq, 1001 ± 6.2 Bq, 2022 ± 8.7 Bq, 3027 ± 11 Bq으로 목적한 농도의 시료가 만들어졌음을 확인하였다. 일반적으로 MDA는 검출한계치 중 검출한계 (L_D : Detection Limit)를 이용하여 구하며 식 (1)과 같다.

$$MDA = \frac{2.71 + 4.65 \cdot \mu_B}{t_s \times \epsilon \times m \times \gamma} \quad (1)$$

위의 식에서 시료량(m)은 1kg, ^{137}Cs (661.7 keV), ^{134}Cs (604.7 keV), ^{134}Cs (795.9 keV), ^{131}I (364.5 keV)의 주 피크 방출률(γ)은 각각 85.0%, 97.6%, 85.5%, 81.2%로 설정하였다. 효율(ϵ)은 상대효율 30%, 45%의 검출기로 측정된 각각의 에너지에서의 측정효율을 적용하였다. 시료의 측정 시간(t_s)은 1000~5000 초 사이는 1000 초 간격으로, 5000~150000 초 사이는 5000초 간격으로 스펙트럼을 기록하였다. 백그라운드 불확도(μ_B)는 핵종별로 주 피크 에너지 위치에서 10 point 채널의 총 카운트 수로 계산하였다.

2.3 결과 및 고찰

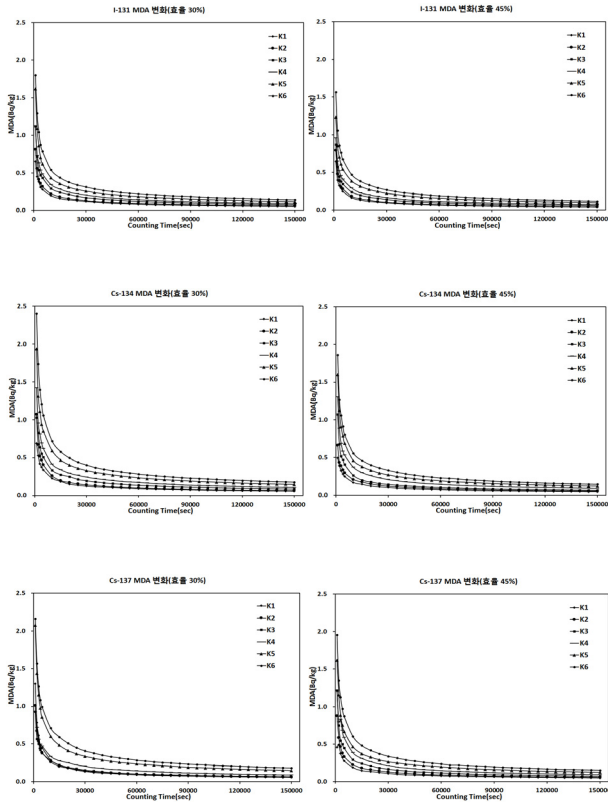


Fig. 1. Change of MDA according to K-40 activity and detector efficiency, time.

^{40}K 시료는 방사능 농도에 따라 낮은 순으로 각각 K1, K2, K3, K4, K5, K6으로 나타내었다. ^{40}K 의 농도에 따른 백그라운드 변화와 측정효율, 측정시간에 따른 ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I 핵종의 MDA 변화를 확인한 결과, ^{40}K 의 농도가 높을수록 MDA가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 컴프턴 연속에 따른 백그라운드가 핵종별 주 피크에 영향을 미치기 때문으로 세 핵종에 대해서 모두 같은 경향을 보인다. 또한, 측정효율의 경우 같은 핵종에 대해 비교했을 때, 상대효율 45%의 검출기가 30%의 검출기보다 좀 더 낮은 MDA를 나타내는 것을 볼 수 있다.

초기 1000 초를 측정하였을 경우 모든 시료에서 검출기의 효율 상관없이 초기 MDA가 2 Bq/kg 전후에서 설정되었다. 10,000 초를 측정하였을 경우 MDA는 1 Bq/kg 이하였으며, 30,000 초로 측정한 경우 MDA가 모두 0.5 Bq/kg 이하로 나타났다. 상대적으로 낮은 ^{40}K 농도인 K1, K2, K3의 시료는 80,000 초 이내에서 0.1 Bq/kg 이하의 MDA 설정이 가능하였으나, K4, K5, K6와 같은 1000 Bq 이상의 고농도 시료는 실험에서 측정한 최대 계측시간인 150,000 초를 초과하는 시간이 요구되어 측정불가 하였다.

MDA는 0.5 Bq/kg를 기준으로 효율 45%의 검출

기가 30%의 검출기보다 측정시간이 약 5000초, 0.2 Bq/kg에서는 약 30,000 초 정도 적게 소요되었다. MDA 수치가 낮을수록 검출기의 효율에 따라 측정시간의 차이는 더 컸다. 하지만 농도가 높은 K4, K5, K6시료의 MDA를 0.1 Bq/kg로 설정하는 것은 본 실험에서 설정한 최대 계측시간을 초과하여 계측기 간의 비교가 어려웠다.

실험을 통해 일반적인 농·식품 시료의 경우 계측기 효율에 상관없이 짧은 측정시간에도 적절한 MDA 설정 가능하다는 것과 효율이 좋은 검출기에서도 MDA를 낮게 설정 할수록 상당한 측정시간이 필요하다는 것을 확인하였다.

3. 결론

농·식품 중 감마핵종 분석시 ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I 의 MDA는 ^{40}K 의 농도에 따른 백그라운드, 계측기의 효율, 측정시간에 영향을 받지만 설정한 MDA 따라 각각의 인자에 대한 상관관계는 다르게 작용하였다. 실험 결과를 통해 효과적인 MDA 및 측정시간 설정에 대한 논의가 가능할 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] Currie, Lloyd A. "Limits for Qualitative Detection and Quantitative Determination", Analytical Radiochemistry, 40(3), 586-593 (1968).