

An Activation Analysis of Target("used H₂¹⁸O") for ¹⁸F¹⁸FDG Synthesis

Bo Sun Kang

Department of Radiological Science, College of Medical Science, Konyang University

¹⁸F¹⁸FDG 생산용 타겟("사용 후 H₂¹⁸O")의 방사화 분석

강보선

건양대학교 방사선학과

Abstract

Currently, about 35 cyclotrons have been operating in South Korea. Most of them are mainly used for the synthesis of radiopharmaceuticals such as ¹⁸F¹⁸FDG, which is a cancer tracer for nuclear medicine. Highly enriched H₂¹⁸O containing up to 98% of ¹⁸O/O isotope ratio is used as the target for ¹⁸F production. The price of the highly enriched H₂¹⁸O ranges 60~70 USD/g, and all of them have been imported from foreign country in spite of the very expensive price. The target (enriched H₂¹⁸O) is non-radioactive before the proton beam irradiation. But, the post-irradiation target (used H₂¹⁸O) must be managed following the National Radiation Safety Regulations, because it turns into radioactive by the radioactivation of the impurities within the target. Recently, nevertheless of the fast increasing amount of used H₂¹⁸O in accordance with the increasing number of nuclear medicine cases, any activation analysis on the used H₂¹⁸O have been conducted yet in Korea. In this research, activation analysis have been conducted to confirm the specific radioactivity(Bq/g) of each radioisotopes within the used H₂¹⁸O. The analysis have been done on the 3 of 20g samples collected from the used H₂¹⁸O storages at different cyclotron centers. Based on the results, it was confirmed that the "used H₂¹⁸O" contains gamma emitters such as ⁵⁶Co, ⁵⁷Co, ⁵⁸Co, and ⁵⁴Mn as well as the considerable amount of beta emitter ³H. It was also confirmed that the only one sample contained over exemption level of gamma emitters while the specific activity of tritium was lower than the exemption level in all samples. The specific activity of radioisotopes were measured different levels in the samples depending on the elapsed time after irradiation. Further study on the activation of the "used H₂¹⁸O" is definitely necessary, nevertheless the as-is results of this research must be useful in establishing a rational "used H₂¹⁸O" management protocol.

Key Words : used O-18 water, ¹⁸F¹⁸FDG, cyclotron center, gamma emitter, activation analysis, ³H, tritium, exemption level

요약

현재 국내에서 가동 중인 사이클로트론센터는 약 35개소에 이르며, 대부분의 사이클로트론 센터는 주로 핵의학검사용 양성종양 추적자인 ¹⁸F¹⁸FDG 등과 같은 방사성의약품을 생산하고 있다. ¹⁸F를 생산하기 위한 타겟으로서 산소동위원소비(¹⁸O/O)가 98%정도인 고농축 H₂¹⁸O를 사용하고 있다. 고농축 H₂¹⁸O는 1 gram당 가격이 약 60~70 USD 정도로 매우 고가이나 100% 수입에 의존하고 있는 상황이다. 양성자 빔 조사 전의 타겟(고농축 H₂¹⁸O)은 비방사성이다. 하지

만, "사용후 H₂¹⁸O"는 불순물들의 방사화에 의해 방사능을 띄게 되므로 방사선안전 법규에 따라 적절한 관리가 이루어져야 한다. 최근의 핵의학검사 건수의 증가에 따라 사용 후 O-18의 발생량이 증가하고 있음에도 불구하고 국내에서는 현재까지 이에 대한 방사화분석이 이루어지지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 ¹⁸F생산을 위해 양성자조사를 하고 난 타겟, 이른바 "사용후 O-18 water"의 방사화 분석을 실시하여 핵종별 방사능농도(Bq/g)를 확인하고자 하였다. 세 곳의 서로 다른 싸이클로트론 센터에서 보관 중인 "used H₂¹⁸O" 중 20g 썩을 채취한 3개의 시료에 대해 방사화분석을 실시하였으며, 분석결과 사용후 O-18 water는 감마선 방출 방사성핵종인 ⁵⁶Co, ⁵⁷Co, ⁵⁸Co, ⁵⁴Mn 등과 베타선 방출핵종인 ³H을 상당량 포함하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 모든 시료에서 ³H은 규제면제 농도 이하인 반면, 한 개 시료는 핵종별 규제면제농도 이상의 감마선 방출핵종을 포함하고 있음을 확인하였다. 시료에 포함된 감마선 방출핵종의 방사능 농도(Bq/g)는 조사 후 보관기간의 차이에 따라 달랐으며, 향후의 추가적인 연구가 더 필요하다고 판단되지만, 본 연구의 결과는 "사용후 O-18 water"의 합리적인 관리방안 수립을 위한 근거 자료로 활용될 수 있을 것이다.

중심단어: 사용후 O-18 water, ¹⁸F₂FDG, 싸이클로트론 센터, 핵종분석, 감마방출핵종, ³H, 트리튬, 규제면제농도

I. 서론

핵의학진단의 대표적인 modality 중 하나인 PET (positron emission tomography) 내지 PET-CT에 사용되는 약성종양 추적자인 2-fluore(¹⁸F)-2-deoxy-D-glucose (¹⁸F₂FDG)는 싸이클로트론을 이용하여 가속된 양성자빔을 농축 H₂¹⁸O 타겟에 조사하여 ¹⁸O (p,n)¹⁸F 핵반응을 유도함으로써 생성된 ¹⁸F를 glucose에 치환하여 생산한다.^[1] H₂O 내의 산소 원자수 비가 ¹⁸O을 98% 이상을 포함한 고농축 H₂¹⁸O를 타겟으로 사용하며, 고농축 타겟을 사용하는 이유는 아래의 식에서 보인 바와 같이 양성자 빔과 ¹⁸O의 반응률을 높임으로서 ¹⁸F의 수율을 높이기 위해서이다.

$$A_{18F}(t) = \sigma_{p,n} N_{18O} \phi_p (1 - e^{-\lambda_{18F} t}) \dots\dots\dots (1)$$

식 (1)에서 A_{18F}(t)는 생산된 ¹⁸F의 방사능, N_{18O}는 표적 ¹⁸O의 원자수, σ_{p,n}는 ¹⁸O (p, n)¹⁸F 핵반응단면적, φ_p는 양성자 빔의 입자선속, λ_{18F}는 ¹⁸F의 방사성감쇠상수, t는 양성자 빔 조사시간이다. 따라서 생성되는 ¹⁸F의 방사능은 ¹⁸O의 농도와 조사시간 및 양성자 빔의 선속에 비례하게 된다. 따라서 ¹⁸F의 수율을 높이기 위해서는 고농축 H₂¹⁸O를 사용해야 한다.

조사시간 t_r 이후에는 ¹⁸F의 생성은 없고 단순 방사능감쇠만 일어나므로 조사 후 ¹⁸F₂FDG를 합성하는데 소비되는 시간(냉각시간) t_c-t_r을 고려하면 합성이 완료되

는 시점에서의 ¹⁸F₂FDG의 방사능은 [Fig. 1]와 같다.

고농축 H₂¹⁸O는 미국, 러시아, 중국, 독일, 이스라엘, 일본 등 6개국에서만 생산되고 있으며 1 gram 당 가격이 대략 60~70 USD에 달할 정도로 고가이다. 국내에서 운영 중인 모든 싸이클로트론 센터에서 사용되고 있는 농축 H₂¹⁸O는 전량 수입에 의존하고 있으며, 국내 암센터의 신설/증설에 따른 핵의학검사 건수의 증가와 함께 농축 H₂¹⁸O의 사용량 역시 증가추세에 있다.

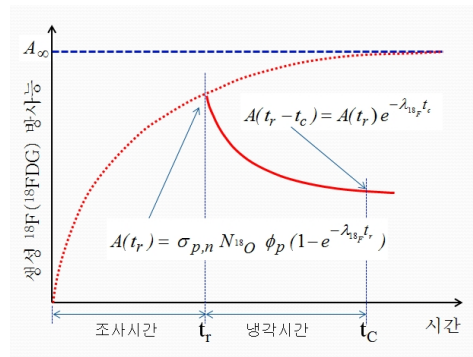


Fig. 1. Radioactivity of synthesised ¹⁸F₂FDG as a function of proton beam irradiation time, t_r and cooling time, t_c.

국내 싸이클로트론의 역사는 1986년 원자력병원에서 의료용으로 도입한 것이 최초이며, 1989년부터 방사성의약품의 생산을 시작하였다.^[2] 국내에서 싸이클로트론을 이용하여 ¹⁸F₂FDG를 생산하기 시작한 것은 1994년 서울대학교병원에서 PET을 이용한 암진단을

시작하면서 그 역사가 시작되었다.^[3] 그 이후 PET 및 PET/CT 등이 여러 병원에 설치되면서 18FDG사용량이 급격히 늘어났으며, 국민보건 증진을 위해 국가사업의 일환으로 전국 5개 권역에 국내에서 제작된 싸이클로트론을 설치하면서 수도권에 집중되어있던 싸이클로트론 센터가 전국으로 확대되는 계기가 되었다.

현재 국내에서 가동 중인 싸이클로트론센터는 대략 35곳이 있으며, ¹⁸FDG생산을 위해 소비하고 있는 농축 H₂¹⁸O의 양은 연간 약 80kg으로 추정된다. 하지만 최근 지속적인 증가추세를 반영하면 5년 이내에 국내 농축 H₂¹⁸O의 소비량은 연간 130kg에 이를 것으로 추정된다. 이는 달리 표현하면 현재 매년 80kg 정도의 사용후 O-18 water가 발생되고 있다는 것을 의미하며 향후 매년 발생될 사용후 O-18 water의 양이 더 증가한다는 것을 의미한다.

그럼에도 불구하고, 사용후 O-18 water의 재처리 혹은 처분에 관한 뚜렷한 법적 기준이 없으며, 사용후 O-18 water의 방사능핵종 및 농도의 분석이 제대로 실시되지 않고 있는 상황이다. 물론, 특정 싸이클로트론센터에서 원자력연구원에 의뢰하여 핵종분석을 실시하였다고는 하지만 그 분석결과에 대해서는 아직까지 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 국내 싸이클로트론센터에서 회수된 사용후 O-18 water의 방사화 핵종분석결과를 공유함으로써 현재 각 싸이클로트론센터에서 단순보관 내지 폐기되고 있는 사용후 O-18 water의 합리적인 관리방안 수립에 관한 근거자료를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

3곳의 서로 다른 싸이클로트론 센터에서 ¹⁸FDG 생산 후 보관 중인 양성자 빔이 조사된 타겟(사용후 H₂¹⁸O) 중 20g을 채취한 3개의 시료 A, B, C에 대해 감마선 방출핵종 분석 및 각 감마핵종과 tritium의 방사능농도(Bq/g) 측정을 수행하였다. 시료 A, B는 양성자 빔 조사 후 보관기간이 약 1년 정도 경과된 시료이며, 시료 C는 보관기간이 수개월 정도인 시료이다.

1. 감마선 분광법(Spectroscopy)을 이용한 감마선 방출핵종 분석 및 감마핵종 방사능농도 측정

시료 A 10g, B 20g, C 10g에 대해 각각의 측정시간(검출기 live time)은 3600s 동안 측정하였다. 백그라운드 측정시간은 백그라운드 strip과정의 편의를 위해 시료측정시간과 동일하게 측정하였으며, 방사능농도는 각 시료별 측정된 방사능에서 백그라운드를 제거한 방사능을 이용하여 계산하였다.

농축 O-18 water는 생산과정 자체가 반복적인 증류 방법을 거쳐서 농축되므로 매우 순도가 높은 순수(purified water)이다. 하지만, [표 1]에 보인 바와 같이 극미량의 금속들이 여전히 불순물로 포함되어 있으며 이들 불순물이 양성자와의 핵반응 혹은 양성자의 핵반응으로 생성된 중성자와의 2차 핵반응으로 인해 방사화되어 감마선 및 베타선을 방출하는 방사성 핵종으로 변환된다. 이러한 방사화 감마핵종으로 인해 사용후 O-18 water는 방사능을 띄게되며 “사용후 O-18 water”의 방사능농도 (Bq/g) 및 수량에 따라 원자력안전법의 규제를 받게 된다.

Table 1. Impurities and their contents remaining in the fresh target(over 98% enriched H₂¹⁸O)

Impurity	Contents(μg/g)	Impurity	Contents(μg/g)
Al	0.001	Mg	0.003
Br	0.001	Na	0.13
Ca	0.04	NO2	0.001
Cl	0.025	NO3	0.001
Cu	0.001	PO4	0.001
F	0.002	Si	0.1
Fe	0.002	SO4	0.042
K	0.004	Zn	0.013

양성자 빔 조사에 의해 타겟에 포함된 불순물이 방사화되어 생성되는 대부분의 방사화 감마핵종들은 수분~수일로 반감기가 매우 짧아서 1~2개월의 냉각시간 동안만 보관하면 감쇠되어 방사능 수치가 자연방사능 이하로 감쇠되지만 일부 방사화 핵종들은 반감기가 수 개월~수십 개월에 이르므로 상당시간 동안의 냉각 시간을 거친 이후에도 사용후 O-18 water는 여전히 상당 수준의 방사능을 갖게된다. 이러한 감마핵종은 특정 선스펙트럼의 감마선을 방출하므로 감마선 분광법을 이용해서 방출감마선의 전에너지피크 측정을 통해 핵종을 알 수 있으며, 아래 식을 이용하면 측정된 전 에너지피크의 계수율로부터 특정 핵종의 방사능농도

를 알 수 있다.

$$A = \frac{N}{m \epsilon_D \epsilon_g} \dots\dots\dots (2)$$

식 (2)에서 A는 시료 중 관심핵종의 방사능농도 (Bq/g)이며, N은 시료로부터 측정된 전에너지피크의 계수율(cps), m은 시료의 질량(g), ε_D는 관심핵종에 대한 계측기의 peak-to-total 검출효율, ε_g는 검출기의 기하학적 효율이다.

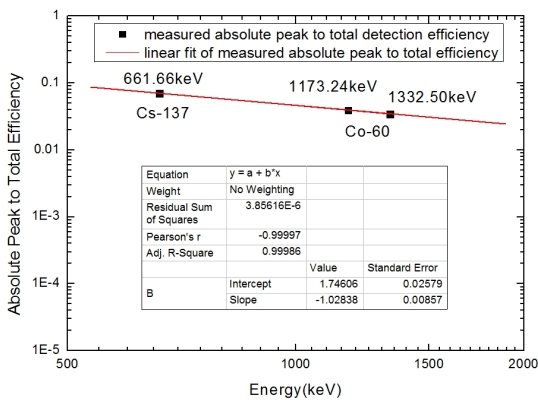


Fig. 2. Absolute peak-to-total detection efficiency of the HPGe detector. Three peaks from two calibration sources Cs-137(661.66keV), Co-60(1173.24keV, 1332.50keV) were measured, and linear fitting function was calculated in order to estimate the absolute peak-to-total efficiencies of other interested gamma emitters.

핵종분석 및 식 (2)의 전에너지피크 계수율 측정을 위한 방사선 계측시스템 구성은 Ortec사의 p-type HPGe검출기(GEM10P4-70) 및 관련 고전압전원, 전치 증폭기, 증폭기, 다중과고분석기를 이용하여 구성하였으며, 식 (2)의 계측기 검출효율 ε_D는 Cs-137, Co-60 교정용선원을 이용하여 3개의 peak에 대한 peak-to-total 절대측정효율을 구한 후 대수-대수 그래프에서 1차 근사식을 구한 후 이를 이용하여 관심핵종에 대한 ε_D를 추정하였다. p-type HPGe 검출기의 경우 110keV에서 2MeV까지는에너지 E인 감마선의 검출효율 ε_D가 대수-대수 그래프에서 거의 선형으로 감소하므로 측정된 2개 이상의 ε_D에 대해 ln(ε_D)=a₀+a₁×ln(E)를 만족하는 1차 근사식을 구해서 관심핵종의 에너지에 대한 검출효율을 추정하여도 무방하다.^[4] 따라서, 관심방사성핵

종의 피크면적에 해당하는 측정데이터(cps) 값을 구한 후 해당 핵종의 감마선 에너지에 대한 검출효율을 위에서 구한 1차 근사식을 통해 추정한 후 해당 핵종의 방사능(Bq)을 계산하였다. 관심방사성핵종의 검출효율 추정에 사용된 1차 근사식은 아래 [Fig. 2]와 같이 구하였다. 또한, [Fig. 3]에 보인바와 같이 시료체적의 중심이 검출기의 축과 정렬되도록 시료를 위치시켰으며, 기하학적 효율은 샘플의 중심에 점선원으로 감마핵종이 존재하는 것을 가정하여 계산하였다.

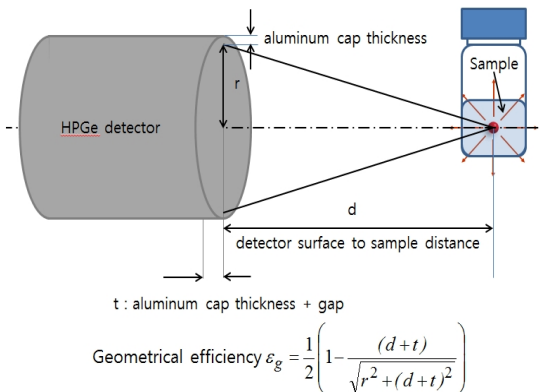


Fig. 3. Sample positioning and geometrical factors used for the calculation of geometrical efficiency.

2. 액체섬광계수기를 이용한 “사용후 H₂¹⁸O”의 ³H(tritium) 방사능농도 측정

표적으로 사용되는 농축 H₂¹⁸O에는 일반 중수수보다 많은 양의 중수소(²H, 또는 D)가 함유되어 있다. 따라서 위의 식 (1)에 보인바와 같이 ¹⁸F 생성 핵반응 시 발생하는 중성자와 표적 내에 포함된 중수소의 (n,γ) 핵반응 및 ¹⁸O(p,T)¹⁶O 핵반응으로 삼중수소(³H, 또는 T)가 생성된다.^[5] 삼중수소는 최대에너지가 18.6 keV인 저에너지 베타선 방출핵종으로서 vial에 보관하여도 충분한 차폐가 되므로 외부피폭의 우려는 없으나, 체내에 흡입될 경우 내부피폭에 대한 위험이 매우 높다. 또한, 반감기가 약 12.1년이므로 수년 동안 보관하여도 거의 감쇠되지 않는다. 따라서 사용후 H₂¹⁸O를 취급함에 있어 ³H의 방사능 농도는 매우 중요하다.

³H의 방사능농도 측정은 저에너지 베타선의 특성상 액체섬광계수기를 이용하여 측정하는 것이 바람직

하며 가장 일반적인 방법이다. 본 실험에서는 Beckman사의 LS6500 액체섬광계수기를 이용하여 시료를 측정하였으며, 측정 시료 A, B, C 모두 섬광각테일 희석비는 시료와 섬광액 1:1의 비율로 동일하게 제작하였다. 측정 시간은 각 시료 당 10분 동안 동일한 조건에서 실시하였으며 시료간의 영향을 배제하기 위해 각각 서로 다른 rack을 사용하여 개별 측정을 실시하였다.

III. 결과

1. 감마선 방출핵종의 종류 및 방사능 농도

A, B, C 3곳의 서로 다른 싸이클로트론 센터에서 회수한 사용후 $H_2^{18}O$ 에 대해 감마선 분광법을 이용하여 방사성핵종 분석을 실시한 결과 3개의 시료 모두 주요 방사성핵종은 Co-56, Co-57, Co-58이었으며, 각 시료의 감마선 스펙트럼은 Fig. [4]에 보인 바와 같다.

스펙트럼 상에 확인되는 시간당 계수율은 시료마다 상당량의 차이를 보이고 있으나 검출되는 감마선 방출핵종은 거의 동일함을 알 수 있다. 이는 시료가 3곳의 서로 다른 싸이클로트론 센터에서 회수된 것이긴 하지만 타겟인 농축 $H_2^{18}O$ 를 모두 동일한 공급처에서 수입하였으므로 타겟에 포함된 불순물의 종류가 유사하기 때문으로 판단된다.

각 시료 간 측정된 계수율의 차이가 매우 큰 이유는 각 시료들의 양성자 빔 조사후 보관기간(냉각시간)이 다르기 때문에 발생한 것이며, 이에 대한 역추적을 통해 정규화된 데이터를 만드는 것이 불가능한 이유는 현재 각 싸이클로트론 센터마다 매일 발생하는 사용후 O-18 water를 별도 보관하지 않고 일정량이 될 때까지 수집 후 별도용기에 혼합하므로 측정에 사용된 시료의 정확한 냉각시간을 확인할 수 없기 때문이다.

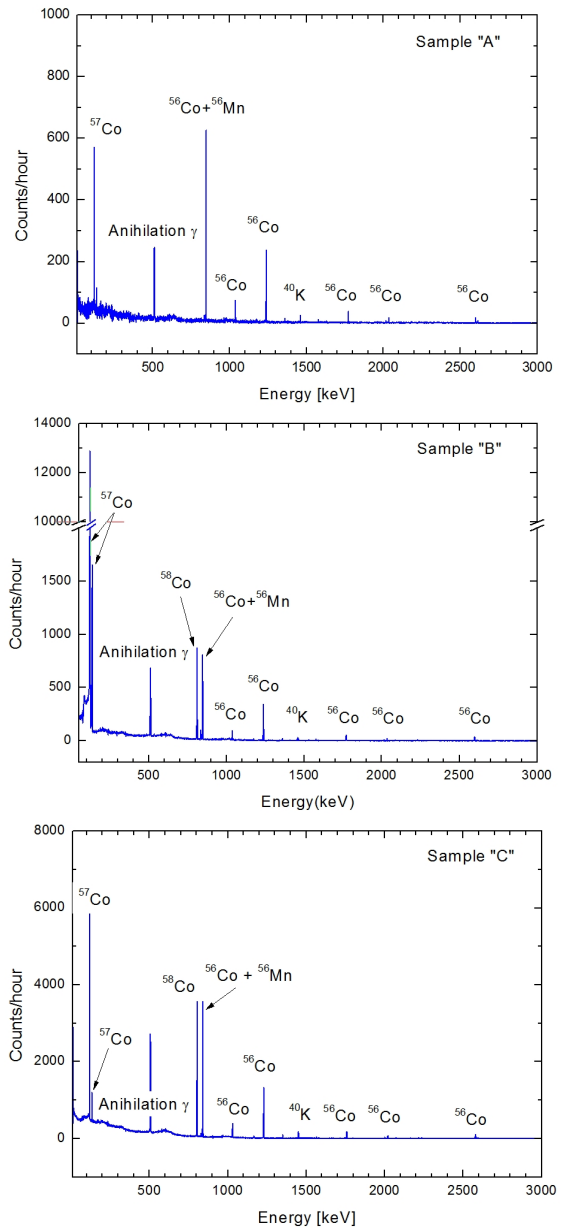


Fig. 4. Measured gamma spectra of samples A, B, C, which are recovered from 3 different cyclotron center. The elapsed times after proton beam irradiation of each sample are also different. Each spectrum shows the major gamma emitters are Co-56, Co-57, Co-58, and the specific activity of each gamma emitters might be different from site to site. The sample to detector distances for each sample is 10cm, 5cm, 10cm respectively.

3 개의 시료 중에서 특히 시료 B가 매우 높은 계수율을 나타내는 이유는 시료 B를 측정조건이 다르기

때문이다. "A"와 "C"의 경우 검출기 표면에서 시료 체적중심까지의 거리가 10cm였고 시료의 양이 10g인 반면, "B"의 경우 5cm, 20g 이었으므로 시료 A, C와 비교할 때 기하학적 효율이 3.31배, 방사성동위원소 양이 2 배 차이이기 때문이다. 또한, 시료에 따라 검출된 방사능 핵종 별 농도가 다른 이유는 실험에 사용된 시료가 단일 조사 후 회수된 시료가 아니라 싸이클로트론 운전조건이 다른 여러 가지의 사용후 O-18 water가 혼합되어 있기 때문으로 판단된다. 왜냐하면, 비단 ¹⁸F뿐만 아니라, 식 (1)에 보인바와 같이 사용후 O-18 water 내에 포함된 방사성핵종의 종류와 방사능 농도는 양성자 빔 조사조건과 타겟에 포함된 불순물 종류 및 농도에 의해 크게 달라질 수 있기 때문이다.

Table 2. Gamma emitters in the sample A and their specific activation

Nuclide	Specific Activation (Bq/g)	
	mean	± error
Co-56	3.53E+00	7.00E-02
Co-57	9.61E+01	4.10E-01
Co-58	6.38E+00	9.00E-02

Table 3. Gamma emitters in the sample B and their specific activation

Nuclide	Specific Activation (Bq/g)	
	mean	± error
Co-56	5.80E-01	1.00E-02
Co-57	2.40E+01	2.00E-02
Co-58	1.79E+00	2.00E-02
K-40	4.02E-01	9.00E-02

Table 4. Gamma emitters in the sample C and their specific activation

Nuclide	Specific Activation (Bq/g)	
	mean	± error
Co-56	1.32E+03	9.05E-00
Co-57	1.87E+03	1.72E+01
Co-58	1.70E+03	1.28E+01
K-40	2.22E+03	8.58E+01

[Fig. 4]의 각 스펙트럼에 대해 해당 핵종의 주 피크에 대한 ROI분석과 각 시료측정에 사용된 기하학적

효율 및 핵종별 감마선 에너지에 대한 검출효율을 식 (2)에 대입하여 계산한 각 시료 A, B, 및 C에 포함된 감마방출 핵종별 농도는 [표 2], [표 3], [표 4]에 나타내었다. 분석결과에 의하면 시료 A, C는 방사성 핵종별 규제면제 농도에 해당한다.

2. 베타방출 핵종 Tritium의 방사능 농도(Bq/g)

액체삼광계수기를 이용하여 각 시료 별 베타방출 핵종인 ³H의 방사능 농도(Bq/g)를 측정결과를 [표 5]에 나타내었다.

Table 5. Tritium(H-3) concentration in the samples

Sample name	Concentration(Bq/g)	
	mean	± error
Sample A	1.6892E+05	5.3016E+02
Sample B	1.0606E+05	2.1206E+02
Sample C	1.0200E+04	9.2903E+01

시료에 따라 측정 결과의 차이가 나는 이유는 감마 핵종분석의 결과에서 논의한 바와 같이 조사조건의 차이에 의한 영향이 클 것으로 판단된다. 하지만, 냉각 시간의 차이에 의한 영향도 어느 정도는 포함되었을 것이다. 왜냐하면 tritium의 경우 반감기가 약 12.1년이므로 각 시료들의 보관기간 차이가 1년 이내인 것을 감안하더라도 각 시료들 간의 방사성붕괴로 인한 방사능감쇠는 약 94% 이내일 것이나 측정결과는 94%보다 큰 차이를 보이고 있기 때문이다. 이에 대한 정확한 분석 또한 불가능한 이유는 감마핵종분석의 결과에서 논의한 바와 마찬가지로 각 시료 A, B, C가 단일 조사조건에 의해 생성된 시료가 아니고 여러 가지 조건에서 생성된 시료들이 혼합되어있는 상태에서 정확한 역추정이 곤란하였다.

IV. 고찰

최근 국내의 암환자 증가와 더불어 국내 대학병원 및 대형종합병원에서 암센터를 신설 혹은 증설함에 따라 핵의학검사 기법을 이용한 암진단 건수가 급격히 늘고 있다. 따라서 싸이클로트론을 이용한 암진단용 방사성의약품인 ¹⁸F¹⁸FDG의 국내 생산량이 급격히 증가하고 있으며 그 결과 ¹⁸F¹⁸FDG생산을 위한 타겟인 농

축 $H_2^{18}O$ 의 수입량 및 "사용후 O-18 water"의 발생량 역시 급격히 증가하고 있다. 최근의 이러한 지속적인 "사용후 O-18 water"의 발생량 증가에도 불구하고 국내에서는 아직 "사용후 O-18 water"의 관리방안에 대한 구체적인 제시가 없으며, "사용후 O-18 water"의 방사성 핵종분석 및 핵종별 방사능농도 분석 등에 관한 구체적인 자료가 발표되지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내 싸이클로트론센터에서 회수된 사용후 O-18 water의 방사화 핵종분석 및 핵종별 방사능농도 분석 결과를 공유함으로써 현재 각 싸이클로트론센터에서 단순보관 내지 폐기되고 있는 사용후 O-18 water의 합리적인 관리방안 수립에 관한 근거자료를 제공하고자 하였다. 그러나 연구에 제공된 시료가 양성자 빔 조사 후 보관기간도 명확하지 않을 뿐 아니라, 단일조사 후 회수된 시료가 아니라 여러 가지 조사조건에서 생성된 시료들이 혼합되어 있는 상태여서 조사조건에 따른 "사용후 O-18 water"의 방사화정도 및 유효감쇠시간 등에 관한 정보를 일반화하기에는 불가능한 상황이었다. 따라서 단일조사 후 회수된 시료를 조사조건별로 회수하여 추가적인 연구를 수행할 필요가 있을 것으로 판단된다. 하지만, 본 연구에서 얻어진 결과만으로도 연구에 사용된 시료에 관해서는 방사능 규제면제농도에 해당하는지 아닌지의 여부를 판단할 수 있었으므로 이에 대한 관리방안을 수립할 수 있게 되었다.

V. 결론

본 연구에서는 국내 3곳의 서로 다른 싸이클로트론센터에서 ^{18}F FDG합성을 위해 양성자 빔을 조사한 후 보관 중인 타겟, 이른바 "사용후 O-18 water"를 20g 씩 채취하여 3개의 시료를 확보한 후 각 각에 대해 방사성핵종 분석 및 방사능 농도 측정을 수행하였다. 수행 결과 양성자 빔 조사 후 1년 이상 보관된 시료의 경우 시료 내에 포함된 모든 감마선방출 핵종 및 tritium의 방사능농도는 규제면제 수량 이하임을 확인할 수 있었다.^[9] 따라서 향후에 조사조건별로 단일조사 후 회수된 시료에 대한 추가적인 연구결과를 보완한다면 사용후 O-18 water에 대한 명확한 관리방안 및 더 나아가 자체처분 혹은 재사용을 위한 외부/해외 반출 등

에 관한 구체적인 방안을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Kilbourn, M.R., Hood, J.T., Welch, M.J., "A simple ^{18}O water target for 18F production", *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 35, pp.599-602, 1984
- [2] 원자력병원/병원안내/병원소개/병원연혁, <http://www.kcch.re.kr>
- [3] 서울대학교병원/병원소개/연혁, <http://www.snuh.org>
- [4] Nguyen Van Do, Pham Duc Khue, "Determination of absolute efficiency of high purity Ge detector", *Communications in Physics*, Vol. 13, pp.233-239, 2003.
- [5] Shigeki Ito, Takuya Saze, Hitoshi Sakane, Satoshi Ito, Shinichi Ito, Kunihide Nishizawa, "Tritium in [^{18}O]water containing [^{18}F]fluoride for [^{18}F]FDG synthesis", *Appl. Radiat. Isot.* Vol. 61, pp.1179-1183, 2004