

사용후핵연료 용해중 휘발 요오드 포집 및 흡착특성 분석

Adsorption Characteristics of Volatile Iodine Trapped during the Dissolution of Spent Fuel

김정석, 박순달, 정용삼, 이창현, 박영재, 김원호

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

사용후핵연료용해중 Ag-Silicagel 흡착체(Ag를 침윤시킨 silicagel)에 포집된 요오드의 화학적 상태를 실험적으로 조사하였다. 모의사용후핵연료(SIMFUEL) 및 실제 PWR 사용후핵연료 시료로부터 포집된 휘발성 요오드를 포함하는 흡착체를 부분별로 나누어 Ag-Silicagel bed와 glass wool filter에 대해 EPMA(electron probe microanalysis) 분석으로 화학적 조성을 측정하였다. 흡착체에 함유된 요오드를 정량하기 위하여 흡착체를 부분별로 나누어 균질시료를 만든 다음 기기적 중성자방사화분석(INAA)을 수행하였다. 각 시료를 폴리에틸렌 혹은 폴리프로필렌 바이알에 담아 하나로 원자로의 공압식 조사시설을 이용하여 조사시킨 후 중성자포획반응으로 생성된 I-128을 측정하여 정량하였다. 실험결과, AgS 흡착체에 포집된 요오드의 분포를 확인하고 흡착된 미량의 요오드를 화학적 분리없이 정량할 수 있었다.

Abstract

The chemical states of iodine trapped in Ag-Silicagel(Ag-impregnated silicagel) adsorbent during the dissolution of spent nuclear fuel have been investigated experimentally. The chemical composition of the adsorbents containing the volatile iodine trapped from a simulated spent fuel(SIMFUEL) and real spent PWR fuel was determined by EPMA(electron probe microanalysis) in the form of Ag-Silicagel beds and glass wool filter. The determination of the amount of iodine in the adsorbent samples mixed homogeneously was carried out by instrumental neutron activation analysis(INAA). The samples in polyethylene or polypropylene vials were irradiated in the pneumatic tube irradiation facilities at the HANARO reactor and then measured I-128 produced by the neutron capture reaction. This results shows that the methods can be successfully applied to know the distribution of iodine trapped in the

adsorbents and in the determination of trace amount of iodine in the samples without any chemical separation.

1. 서론

Iodine-129는 사용후핵연료중 주요 핵분열생성물로서 존재하는 요오드의 주 방사성동위원소이며 긴 반감기(1.6×10^7 years) 및 높은 핵분열수율(0.7%)을 가진다. 따라서 I-129는 처리와 처분 관련 사용후핵연료 공정 및 환경으로의 방출등과 관련하여 매우 중요시되고 있다. 화학적 공정에서 요오드는 조건에 따라 휘발성이고 여러 산화상태 혹은 유기성 요오드로 존재하기 때문에 I-129의 거동은 매우 복잡하다.

요오드 분석방법으로는 calorimetry, gas-chromatography, X-ray fluorescence spectrometry, selective iodine-ion electrode, neutron activation analysis(NAA) 및 ICP-mass spectrometry 등이 알려졌다[1]. 여러 핵분열생성물 혼합물중에 포함된 I-129는 이 동위원소의 핵적특성 때문에 직접 방사능계측 방법으로 분석하기가 어렵다. I-129는 저에너지 베타입자(0.15 MeV)를 방출하면서 붕괴하며 붕괴와 관련된 고에너지의 감마선을 가지지 않는다. 장반감기의 동위원소로서 낮은 비방사능(6.4 Bq/ μ g)을 가진다. 따라서 I-129의 직접 방사능계측 방법은 어렵고 감도가 낮은 것으로 알려졌다. 중성자방사화분석(NAA)은 I-129 정량에 매우 효과적인 방법으로 알려졌다[2-4]. Micro-g 이하의 I-129를 n, ν 반응으로 생성된 I-130을 측정하여 정량할 수 있다. 포획반응을 위한 열중성자 단면적은 27 barn이며 I-130의 반감기는 12.4 hours이다. I-130는 뚜렷한 4개의 감마선(418, 526, 668 및 734 keV)을 가지며 감마선분광분석법으로 쉽게 측정할 수 있다. 그러나 고방사성의 핵분열생성물 혼합물중에 있는 I-129를 정량하기 위해서는 NAA에 앞서 분석을 간섭하는 감마선 방출 핵분열생성물을 화학적 분리방법으로 제거해야만 한다.

사용후핵연료중의 C-14(CO₂) 정량은 C-14가 장수명핵종이므로 원자로 및 핵연료공정에 따른 환경으로의 방출을 관리하고, 방사성폐기물 고화 및 처분과 관련하여 안전성평가와 기초자료 수집을 위하여 필요하다. 핵연료용해중 방출되는 C-14(B-emitter)는 주로 휘발기체 수집 후 액체섬광계수법으로 정량하고 있다. I-129 또한 B-emitter로서 C-14 정량을 방해하므로 휘발성의 C-14 포집 및 정량을 위해서는 반드시 요오드(I-129) 포집장치를 앞서 설치하고 있다[5].

본 연구에서는 모의 사용후핵연료 및 실제 사용후핵연료시료 용해중에 휘발된 요오드를 포집 및 측정하고 요오드 흡착체에 대한 화학적 특성을 조사하였다. 일차적으로 요오드를 포함하는 모의사용후핵연료(SIMFUEL)와 체을 제조하고 핵연료용해장치 및 발생기체 포집장치를 제작설치하였다. 핵연료 용해과정에서 휘발된 요오드 기체를 제조한 Ag-Silicagel 흡착체를 담은 흡착관으로 포집하였다. 흡착 후 Ag-Silicagel 흡착체를 부분별로 나누어 분석시료를 준비하였다. 또한, Ag-Silicagel 포집관에 연결된 CO₂ 기체 포집관의 NaOH 용액을 여과지에 흡착시켜 분석시료를 준비하였다. 준비된 각각의 시료에 대해 기기적 중성자방사화분석과 EPMA를 이용한 표면분석을 수행하였다. 같은 형태의 사용후핵연료 용해 및 발생기체 포집장치를 방사성구역 hot cell내에 설치하고 실제 사용후핵연료(PWR형 UO₂) 용해과정에서 발생된 휘발 요오드를 포집해 보았다. SIMFUEL로부터 포집한 요오드와 동일한 방법으로 기기적 중성자방사화분석 및 EPMA 분석을 수행하였다.

2. 실험

2.1. 시용후핵연료 용해 및 발생기체포집장치 제작

화학분석을 위한 소량의 사용후핵연료시료 용해 및 발생기체 포집을 위한 장치를 방사성구역에 설치하였다(Fig. 1). 용해중 휘발 요오드를 포집하기 위한 포집관을 장치에 부착시키고 22% AgNO₃를 침윤시킨 실리카겔(Ag-Silicagel 흡착체)을 제조하여 충전시켰다. 용해중 발생 CO₂(C-14) 포집을 위한 포집관(1.5 M NaOH 흡착용액)을 요오드 포집관에 연결하여 설치하고 다음으로 Molecular 13X를 포함한 U자관을 연결하여 설치하였다.

2.2. 모의사용후핵연료 및 사용후핵연료시료 준비

핵연료용해 및 발생기체포집을 위한 모의사용후핵연료(SIMFUEL) 시료를 제조하여 준비하였다(Table 1). UO₂ 분말에 10종의 모의핵분열생성물 원소 분말을 첨가시킨 후 500°C 산화시킨 다음 1100°C의 공기분위기에서 2시간 열처리하여 제조하였다. CsI를 별도 준비하여 용해전 일정량 취하여 SIMFUEL과 함께 용해용기에 가하였다. 사용후핵연료시료는 고리 2호기에서 연소한 PWR형 UO₂ 사용후핵연료시편 일정량을 방사성구역 화학시험시설 hot cell 안으로 이송하여 준비하였다.

2.3. 핵연료시료 용해 및 휘발 요오드기체 포집

Fig. 1의 핵연료용해 및 발생기체 포집장치를 후드안에 설치하고 장치의 용해용기에 모의사용후핵연료시료 1g과 CsI 0.0225g을 넣고 HNO₃(1+1) 용액 40 mL를 적가시킨 다음 90°C로 4시간 환류시켜 용해하였다. 부착된 휘발 요오드 포집관에는 12cm 길이만큼 제조한 Ag-Silicagel을 채웠다. 연결부착한 3개의 CO₂(C-14) 포집관에는 1.5 M NaOH 용액 각각 25 mL씩 채웠다. 용해 및 휘발기체 포집완료 후 24시간 방치한 다음 상온 및 상압 하에서 시료를 준비하였다.

사용후핵연료시료의 용해 및 휘발 요오드기체 포집을 위하여 동일한 장치를 방사성구역 화학시험시설내의 hot cell 안에 설치하였다. 사용후핵연료시료 약 1g을 용해용기에 넣고 모의사용후핵연료시료와 동일한 과정으로 용해하였다. 단, 장치의 원격설치에 따른 고려와 모의사용후핵연료시료로부터의 실험결과를 토대로 휘발 요오드 포집관은 4cm 길이만큼 줄여서 제조한 Ag-Silicagel을 채웠다. 2개의 CO₂(C-14) 포집관을 연결부착하고 1.5 M NaOH 용액 각각 12.5 mL씩 채웠다. 용해 및 휘발기체 포집완료 후 24시간 방치한 다음 상온 및 상압 하에서 시료를 준비하였다.

2.4. 흡착특성 분석시료 준비

요오드 흡착특성 분석을 위한 시료는 아래와 같이 흡착체 제조에 이용한 시판 Silicagel, 22% AgNO₃를 침윤시켜 만든 Ag-Silicagel 흡착체, 모의사용후핵연료시료 및 실제 사용후핵연료시료를 이용하여 용해 및 휘발 요오드를 흡착한 흡착관내 Ag-Silicagel 흡착체를 부분별 채취하여 준비하였다.

시료명	시료이력
S-1	시판 Silicagel(Aldrich, 8 mesh)
S-2	S-1에 AgNO ₃ 를 침윤시킨 Silicagel(Ag-Silicagel 흡착체)
S-3	S-2 흡착체로 모의사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드를 흡착시킨 흡착관 중간부분(전방 3cm) 시료

- S-4 S-2 흡착체로 모의사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드를 흡착시킨 흡착관 앞부분 (전방 0.1-0.5cm) 시료
- S-5 S-2 흡착체로 실제 사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드를 흡착시킨 흡착관 중간부분 (전방 1-3cm) 시료
- S-6 S-2 흡착체로 실제 사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드를 흡착시킨 흡착관 앞부분 (전방 0.1-1cm) 시료
- S-7 S-2 흡착체로 실제 사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드를 흡착시킨 흡착관 맨 앞부분 유리솜 필터

2.5. 흡착 요오드 정량시료 준비

흡착된 요오드의 정량분석을 위한 시료는 아래와 같이 흡착체 제조에 이용한 시판 Silicagel, 22% AgNO₃를 침윤시켜 만든 Ag-Silicagel 흡착체, 모의사용후핵연료시료 및 실제 사용후핵연료시료를 이용하여 용해 및 휘발 요오드를 흡착한 흡착관내 Ag-Silicagel 흡착체를 부분별 채취하여 준비하였다. 분석을 위한 균질시료를 만들기 위해 취한 각각의 시료를 폴리에틸렌 용기에 담아 wrist action shaker(Burrell)을 이용 분쇄 및 혼합하였다. 단, 사용후핵연료시료 용해시험에 의한 방사성시료는 흡착관내의 흡착체 전량을 부분적으로 나누어 폴리프로필렌 바이알에 담아 준비하였다. 또한, 모의사용후핵연료시료를 이용한 용해실험에서는 요오드 흡착관에 연결된 C-14 흡착관내의 1.5 M NaOH 용액 일정량을 여과지(Whatmann 41)에 흡착 및 건조시켜 분석시료를 준비하였다.

시료명	시료이력	시료량(g)
B-1	시판 Silicagel (Aldrich, 8 mesh)	0.329
B-2	S-1에 AgNO ₃ 를 침윤시킨 Silicagel(Ag-Silicagel 흡착체)	0.391
L-1	B-2 흡착체로 모의사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드 흡착시킨 흡착관 맨 앞부분(유리솜 필터 및 전방 0.1-1cm) 분말시료	0.334
L-2	B-2 흡착체로 모의사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드 흡착시킨 흡착관 L-1 다음부분(전방 1-3cm) 분말시료	0.388
L-3	B-2 흡착체로 모의사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드 흡착시킨 흡착관 L-2 다음부분(전방 3-7.5cm) 분말시료	0.454
L-4	B-2 흡착체로 모의사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드 흡착시킨 흡착관 L-3 다음부분(전방 7.5-12cm) 분말시료	0.430
N-1	B-2 흡착체로 실제 사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드 흡착시킨 흡착관 맨 후미부분 시료	1.245
N-2	B-2 흡착체로 실제 사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드 흡착시킨 흡착관 N-1 앞부분 시료	0.905
N-3	B-2 흡착체로 실제 사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드 흡착시킨 흡착관 N-2 앞부분 시료	0.625

N-4	B-2 흡착체로 실제 사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드 흡착시킨 흡착관 N-3 앞부분 시료	1.031
N-5	B-2 흡착체로 실제 사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드 흡착시킨 흡착관 맨 앞부분 유리솜 필터	0.079
P-1	모의사용후핵연료시료로부터 휘발기체 포집에 사용한 1.5 M NaOH 용액 0.5 mL를 흡착시킨 여과지	0.214
P-2	모의사용후핵연료시료로부터 휘발기체 포집 후 첫번째 NaOH 포집관 내 흡착용액(1.5 M NaOH) 0.5 mL를 흡착시킨 여과지	0.214

2.6. 흡착시료 특성분석

본 핵연료용해 및 휘발기체 포집실험에서 사용한 휘발 요오드 흡착체의 화학적 특성을 알기 위하여 상기 '2.4.'에서 준비한 시료에 대해 EPMA(electron probe microanalyser, JEOL, JXA 8600) 기기를 이용한 EDS(energy dispersive X-ray emission spectrometry) 및 SEM (scanning electron microscopy) 분석을 수행하였다.

2.7. 흡착 요오드 정량분석

본 핵연료용해 및 휘발기체 포집실험에서 사용한 흡착체중의 요오드를 분석하기 위해 기기적 중성자방사화분석(Instrumental neutron activation analysis, INAA)을 이용하였다. 상기 '2.5.'에서 준비한 시료를 한국원자력연구소내의 하나로에서 공압식 수송시스템을 이용하여 중성자조사하였다. 중성자조사는 $2.95 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 중성자속에서 1 분간 조사시켰으며 방사능계측 후 정량은 직접법(absolute method)으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 핵연료시료 용해 및 휘발기체 포집

Fig. 1은 본 연구에서 이용한 핵연료용해 및 휘발기체 포집장치이다. 1.5 M NaOH 용액 및 Molecular Sieve 13X 포집장치는 사용후핵연료 용해시 요오드(I-129)와 함께 휘발되는 C-14(CO₂)를 포집하기 위한 장치이다. 그러나 NaOH 용액은 C-14(CO₂) 외에도 요오드를 매우 잘 흡착하므로 본 연구에서는 Ag-Silicagel 흡착체와 함께 NaOH 포집용액 일정량을 여과지에 흡착시켜 분석해 보았다. 방사성 I-129와 C-14 모두 β-emitter이므로 Ag-Silicagel 흡착체로 휘발 I-129를 완전하게 흡착시키지 못하면 잔여 I-129가 NaOH 용액에 흡착하게 된다. 이 경우 휘발 I-129의 정량은 더 어려워진다. 또한 C-14(CO₂)을 정량적으로 NaOH용액에 회수한다하여도 I-129의 간섭 때문에 액체섬광계수에 의한 C-14 정량이 불가능하다.

Fig. 2는 핵연료시료 용해중 휘발 요오드를 Ag-Silicagel 흡착체로 포집한 포집관이다. 용해전 포집관의 Ag-Silicagel 흡착체는 보라색을 띠나 핵연료용해 및 휘발기체 포집 후 흡착체는 약간 연한색으로 변하며 맨 앞부분의 유리솜 필터와 흡착체가 노란색을 띠며 요오드가 흡착된 것을 정성적으로 보여 준다. 흡착관을 50°C로 가열 유지하면서 휘발기체를 포집해 보았으나 이러한 현상의 변화는 발견되지 않았다.

3.2. 흡착체의 화학적 특성 분석

모의사용후핵연료 및 실제사용후핵연료 시료를 용해하면서 휘발 요오드를 Ag-Silicagel 흡착체로 포집하였다. 흡착관을 분리한 후 흡착관의 부위별로 몇종의 흡착체를 채취하고 흡착체 제조에 이용한 Silicagel 및 AgNO₃를 침윤시킨 흡착체와 함께 EPMA 분석을 수행하였다. 먼저 시판 실리카겔(S-1)을 EDS(energy dispersive X-ray spectrometry) 분석해 본 결과 주요 성분인 Si의 피크를 확인할 수 있었다. 이 실리카겔을 이용하여 22% AgNO₃를 침윤시켜 제조한 Ag-Silicagel 흡착체(S-2)를 EDS 분석해 보았으며 Ag가 Silicagel 표면에 침착된 것을 확인할 수 있었다. Fig. 3의 (a)는 Ag-Silicagel 흡착체를 이용하여 모의사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드를 흡착시킨 흡착관 중간부분 흡착체(S-3)에 대한 EDS 분석결과이다. 이 스펙트럼은 S-2의 스펙트럼과 비슷하며 요오드가 거의 흡착되지 않았음을 보여준다. Fig. 3의 (b)는 Ag-Silicagel 흡착체를 이용하여 모의사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드를 흡착시킨 흡착관 앞부분 흡착체(S-4)에 대한 EDS 분석결과이다. S-3 결과와 달리 요오드가 상당량 흡착되었음을 보여준다. Fig. 4의 (a)는 실제 사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드를 흡착시킨 흡착관 중간부분 흡착체(S-5)에 대한 EDS 분석결과이다. 모의사용후핵연료시료에 대한 결과와 비슷한 스펙트럼을 보이며 요오드가 거의 흡착되지 않았음을 보여준다. 그러나 Mo으로 추정되는 휘발성 원소가 추가로 Ag-Silicagel 흡착체에 흡착된 것으로 나타났다. Fig. 4의 (b)는 실제 사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드를 흡착시킨 흡착관 앞부분 흡착체(S-6)에 대한 EDS 분석결과이다. S-5에 대한 결과와 비슷한 스펙트럼을 보이나 추가로 미량의 요오드가 흡착되었음을 보여준다. Fig. 5는 실제 사용후핵연료시료로부터 휘발 요오드를 흡착시킨 흡착관 맨 앞부분 유리솜 필터(S-7)에 대한 EDS 분석결과이다. Ag-Silicagel 흡착체에 대한 스펙트럼과 차이를 보이지만 S-6와 마찬가지로 미량의 요오드가 흡착되었으며, 또한, Mo으로 추정되는 휘발성 원소가 추가로 흡착되었음을 보여 주었다. Fig. 6은 유리솜 필터(S-7)에 대한 SEM 사진이다. 섬유상의 유리솜 표면에 보이는 하얀색의 cluster들이 포집된 요오드의 응축 화합물로 추정된다.

3.3. 흡착체중 요오드 함량 분석

본 연구에서는 흡착체중 요오드 함량을 위하여 중성자방사화분석을 이용하였다. 중성자방사화분석은 다른 분석방법에 비하여 감도가 높고 전처리가 간단하므로 건조 및 산처리에 의한 휘발을 방지할 수 있으므로 본 실험의 흡착체 분석을 위한 최적의 방법으로 판단되었다. 시료중의 I-127의 양은 중성자 포획반응으로 생성된 I-128의 감마선(433 keV)을 Ge(Li) 검출기로 계측하고 직접법으로 정량하였다. 사용후핵연료시료로부터 흡착된 I-129의 양은 ORIGEN2 code에 의한 I-127과 I-129의 핵종 생성량의 비를 비를 이용하여 산출하였다. Table 1에 중성자방사화분석에 의한 요오드 동위원소에 대한 정량결과를 나타내었다. Ag-Silicagel 흡착체(B-1) 및 제조에 이용한 Silicagel(B-1)에서는 요오드가 전혀 검출되지 않았다. 모의사용후핵연료로부터 휘발 요오드를 흡착한 Ag-Silicagel 흡착체의 경우 유리솜 필터를 포함한 흡착관의 맨 앞부분(L-1)에서 다량의 요오드가 검출되었으며 그 외의 부분(L-2, L-3 및 L-4)에서는 거의 검출되지 않았다. Ag-Silicagel 흡착관에 연결된 NaOH 포집용액 일정량을 여과지에 흡착시킨 P-2와 비교를 위한 P-1은 성분용액으로부터의 Na-24 감마선의 심한 간섭 때문에 측정이 불가능하였다. 그러나 L-2 ~L-4의 흡착체에서 요오드가 거의 검출되지 않은 점으로 보아 NaOH 포집용액중에 흡착된 요오드는 거의 없는 것으로 판단된다. 사용후핵연료시료의 경우 흡착체 가장 뒷부분인 N1에서는 요오드가 전혀 검출되지 않았으며 N-2 및 N-3에서도 거의 검출되지 않았다. 흡착체 앞부분인 N-4에서 미량의

요오드가 검출되었다. 흡착관 가장 앞부분인 유리솜 필터에도 미량의 요오드가 포집되었을 것으로 판단되나 상기 S-7의 EDS 분석결과에서 나타난 바와 같이 유리솜에 함유된 상당량의 Na 성분에 의한 중성자방사화분석 간섭으로 정량이 불가능하였다.

4. 결 론

상기의 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) Ag-Silicagel 흡착체에 대한 부분별 시료에 대한 EPMA 분석으로 흡착체에 대한 화학적 상태와 흡착거동에 대한 정보를 얻을 수 있었다.
- 2) Ag-Silicagel 흡착체에 대한 부분별 시료에 대한 중성자방사화분석으로 Ag-Silicagel 흡착체에 흡착된 요오드를 정량할 수 있었다.
- 3) 본 연구에서의 Ag-Silicagel 흡착체를 사용할 경우 사용후핵연료시료 용해과정에서 휘발되는 요오드를 전량 흡착시킬 수 있었다.
- 4) 본 연구에서의 Ag-Silicagel 흡착체를 사용할 경우 사용후핵연료시료 용해과정에서 휘발되는 C-14(CO₂)를 요오드의 간섭없이 NaOH 흡착용액으로 회수 및 정량이 가능하였다.

참고문헌

1. B. J. B. Nyarko et al., *J. Radioanal & Nucl. Chem.*, **251**(2), 281 (2002).
2. T. J. Anderson, "Iodine-129 in the Environment of a Nuclear Fuel Reprocessing Plant by Neutron Activation Analysis", DP-MS-78-51, Savannah River Laboratory (1978).2.
3. T. Nedveckaite and W. Filistowicz, *J. Radioanal & Nucl. Chem., Art.*, **174**(1), 43(1993).
4. G. Buzzelli, *Anal. Chem.*, **36**(10), 1973 (1964).
5. J. A. Stone and D. R. Johnson, "Measurement of Radioactive Gaseous Effluents from Voloxidation and Dissolution of Spent Nuclear Fuel", DP-MS-78-7, Savannah River Laboratory (1978).

Table 1. Determination of Iodine Isotopes in Adsorbent Samples by INAA

Sample	Found(μg)		Count. Error(%)
	I-127	I-129	
B-1	N.D	-	-
B-2	N.D	-	-
L-1	493	-	1.25
L-2	0.26	-	17
L-3	0.18	-	17
L-4	0.53	-	11
P-1	IM	-	-
P-2	IM	-	-
N-1	N.D	N.D	-
N-2	0.20	0.640	38
N-3	0.12	0.384	30
N-4	2.54	8.123	5.1
N-5	IM	IM	-

N.D : not detected

IM : impossible measurement

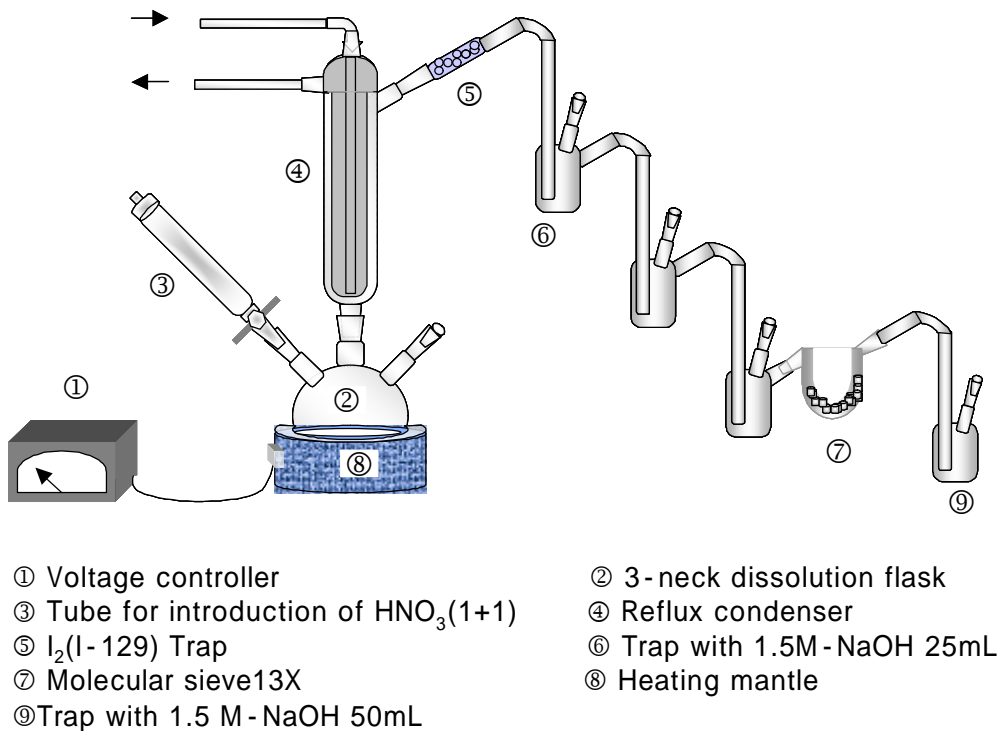


Fig. 1. Dissolution and Gas Collection Apparatus.

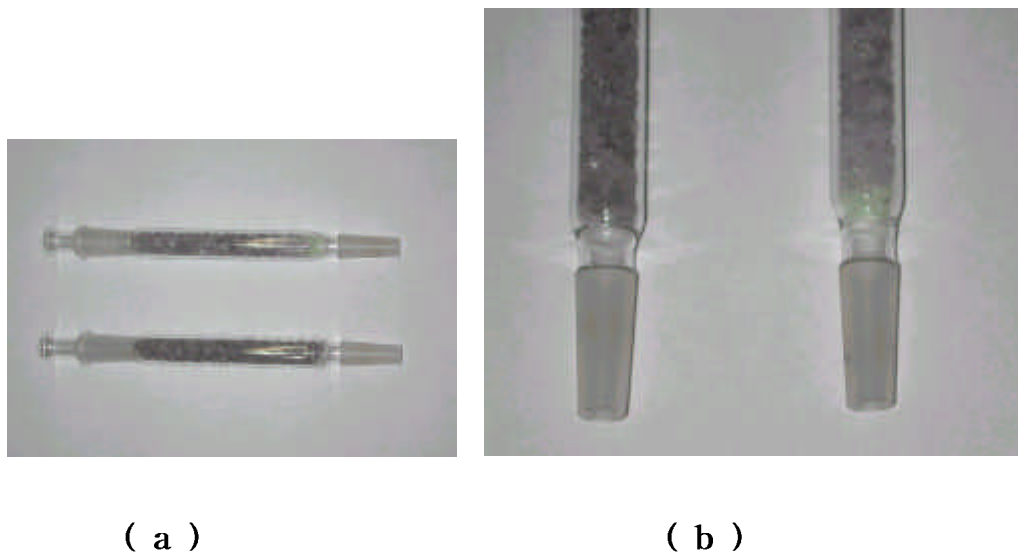
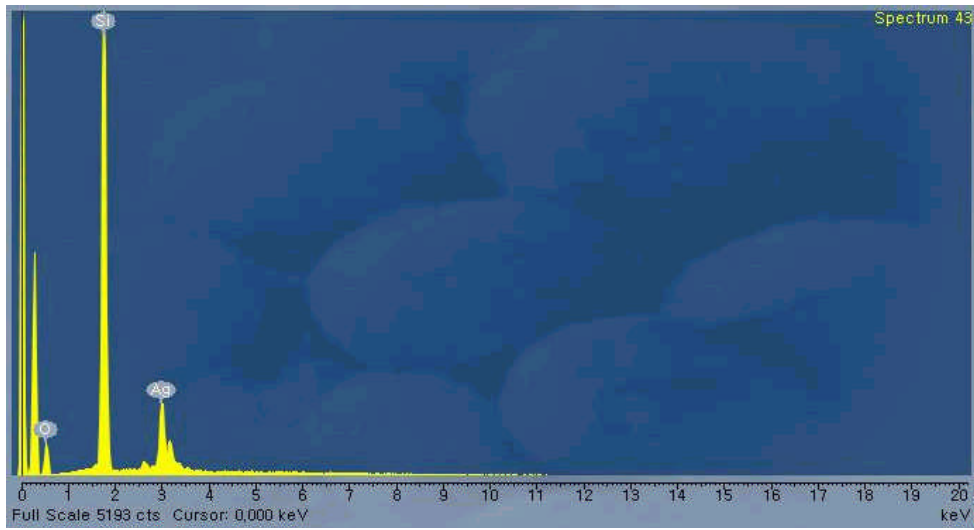
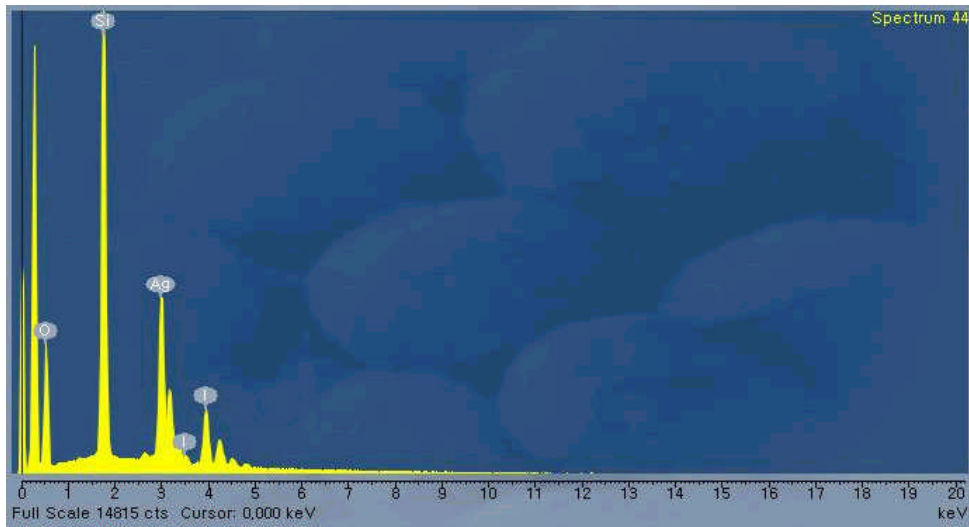


Fig. 2. Comparison of Ag-Silicagel Adsorbents Before and After Trapping of Volatile Iodine

- After trapping : upper in (a), right in (b)
- Before trapping : lower in (a), left in (b)

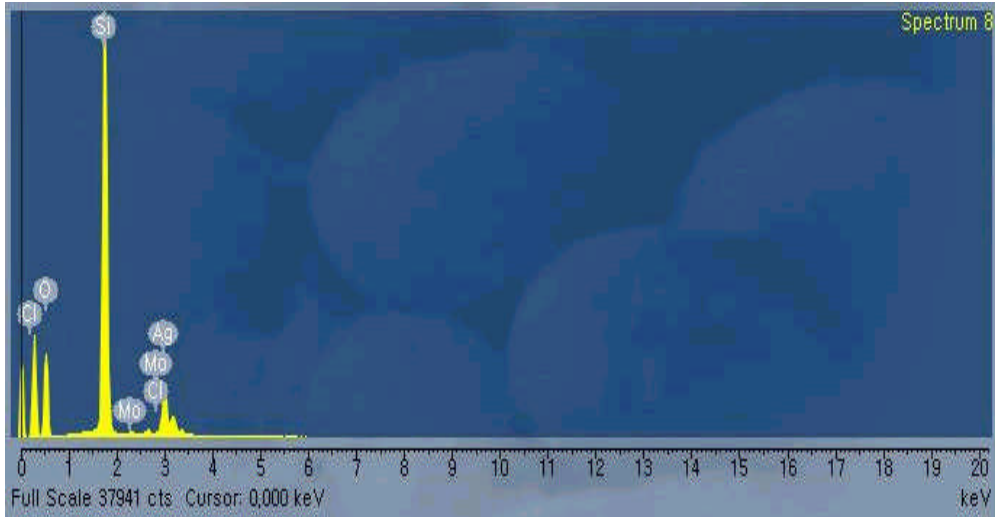


(a)

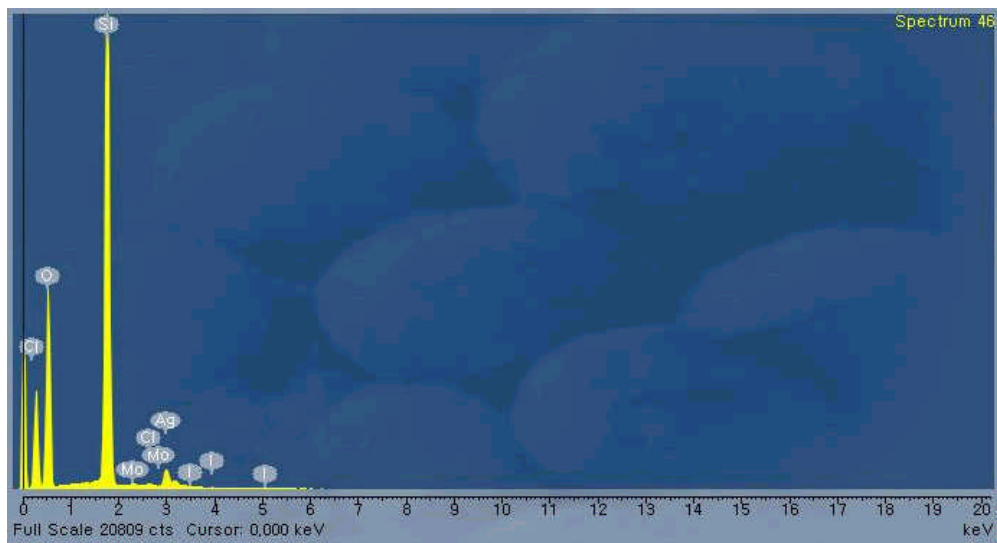


(b)

Fig. 3. Scan of X-ray Spectra Emitted by middle (a) and front (b) regions of Ag-Silicagel after SIMFUEL Dissolution.



(a)



(b)

Fig. 4. Scan of X-ray Spectra Emitted by middle (a) and front (b) regions of Ag-Silicagel after the Dissolution of PWR Spent Fuel.

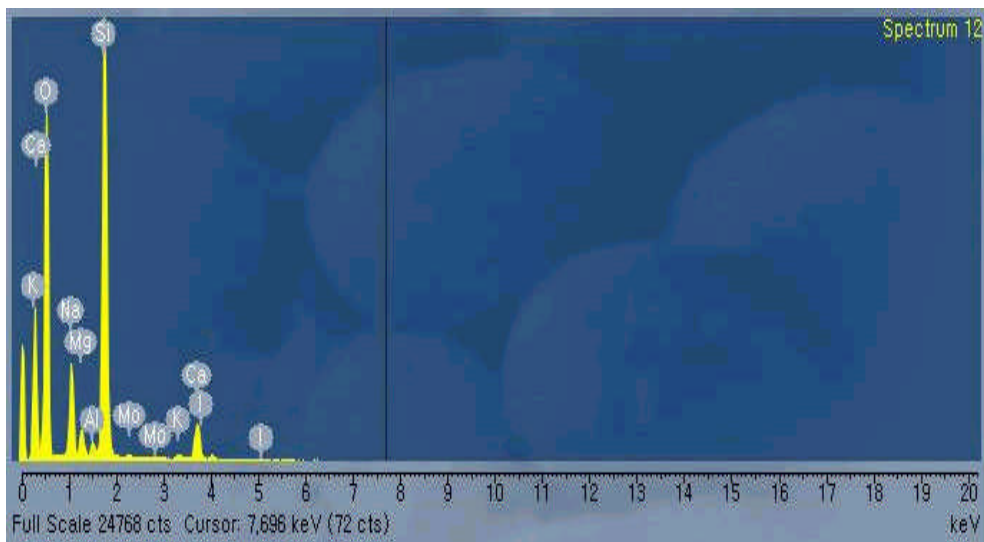


Fig. 5. Scan of X-ray Spectrum Emitted by Glass Wool Filter after the Dissolution of PWR Spent Fuel.

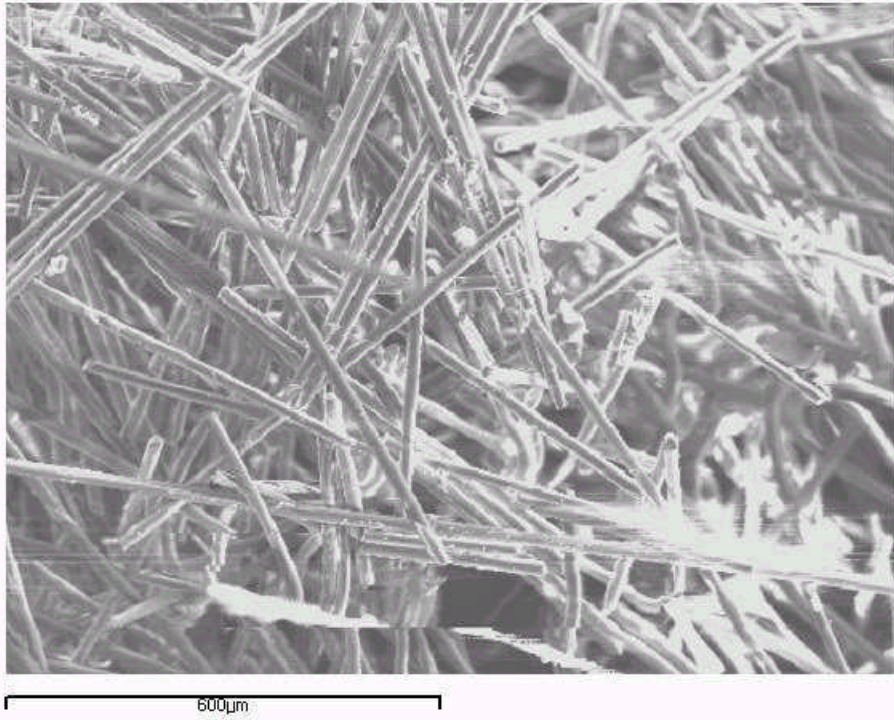


Fig. 6. SEM Image for surface of Glass Wool filter.