

농축·열분해 산화촉매기술을 이용한 기사용 PVA 방호복의 감용화 연구

이의동, 김효철, 홍성준, 김현기, 이진화, 강덕원, 허성기*, 김동훈*

하나검사기술(주), 경기도 하남시 초이동 337-10

*한국수력원자력, 경상북도 경주시 양남면 나아리 260

world2is@naver.com

1. 서론

국내 원전의 경우 보유하고 있는 방사성 폐기물 저장 공간이 포화수준인 상태에서, 경주 중·저준위 방사성폐기물 처분장 가동 예정일이 당초 계획보다 2년 정도 순연된 2012년 말에 준공될 예정이기 때문에 원전에서 발생하는 폐기물 발생량의 저감화는 당면 과제로 부상하고 있는 실정이다. 원전 운영 중 발생한 폐기물 처분비용 또한 드림 당 800 만원을 상회할 것으로 예상됨에 따라 이들 폐기물의 처분비용 지불은 원전 사업자에게 상당한 부담으로 작용할 것으로 판단된다. 최근 국내 원전에서 발생하는 폐기물 발생 동향을 1999년부터 2008년까지 분석한 결과, 잡고체 폐기물 발생량이 85% 이상을 차지하는 것으로 나타났다으며, 그 중 가연성 폐기물이 차지하는 비중이 50% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 미국 원전의 경우, 방사성폐기물 감용효과와 처분비용의 절감을 위해 90% 이상의 원전(104기)에서 물에 녹는 수용성 방호복(Poly Vinyl Alcohol., 이하 PVA라 함)채택 사용 중이고 국내 원전도 주요 작업시 이 방호복을 채택하여 사용한다. 미국은 그간 대부분의 가연성폐기물은 주로 소외 방사성폐기물 전문 처리업체에 의뢰해 소각함으로써 방사성폐기물 처분비용을 최소화 하고 있으며, 최근에는 PVA(Poly Vinyl Alcohol)로 제조된 수용성 방호용품의 사용을 통해 세탁실 운영비 절감과 폐기물 발생량을 최소화 하고 있으며 실제로 대다수의 원전에서 동참, 사용하고 있는 것으로 조사 되었다. 일반적으로 가연성 폐기물을 가장 효과적으로 처리할 수 있는 기술은 소각 및 유리화기술이라 할 수 있다. 하지만 방사성폐기물을 소내에서 소각/유리화시켜 처분장으로 이송시키는 방법은 지역 주민의 정서상 많은 어려움이 뒤따르고 있다. 따라서 방사성폐기물 발생량을 근원적으로 저감할 수 있는 방안은 가능한 한 가연성 폐기물 발생의 선원향에서 차단하는 것이라 할 수 있다. PVA 재질의 방호용품은 100℃의 물

에 용해되는 특징을 지니고 있으며 일반적인 가연성폐기물과는 달리 제염(Decontamination)이 용이하며, 폴리머 응집기술을 이용해 방사성 핵종을 먼저 제거한 후 최소측정 허용농도(MDA) 미만으로 만든 후 농축, 열분해 산화처리 기술을 적용하여 CO₂와 물로 전환되며 소량의 잔유 불용성 물질만 분리, 수거하여 처리가 가능하다. 본 연구에서는 이러한 PVA 재질로 제조된 방호용품의 효과적인 감용 및 제염처리를 위해 Lab 규모의 장비를 이용한 공정실험 내용과 최적 운전조건의 도출을 통해 개발한 실 규모 PVA 방호용품 제염 장치의 원전 현장 실적용 운전경험을 바탕으로 기술하고자 한다.

2. 본론

2.1 15% PVA 용액제조를 위한 용해실험

2.1.1. 소요약품/투입량 결정 및 용해공정

○ 첨가약품: Iron sol : 0.031 mL/g, 34.5% H₂O₂ 0.659 mL/g

○ 용해공정: 제조하고자 하는 용액용량 중 약 80%의 물에 Iron Sol.을 첨가한 후 약 93℃ 까지 가열 후 PVA 원단이 약 80%정도 용해되었을 때 H₂O₂(순도 34.5%)를 투입하며 일정 높이까지 물을 채운 후 35% NaOH를 투입하여 pH를 7로 조정해 15%로 농축된 PVA 용액을 제조함.

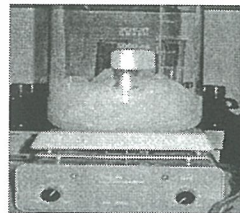


Fig. 1. Before dissolve of PVA Fabrics

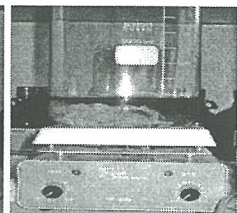


Fig.2. After dissolve of PVA Fabrics

2.1.2. 실험결과

○ 수온이 90℃가 되는 시점으로부터 PVA 원단이 약 80% 정도 용해되는데 약 30분 정도 소요되었으며 100%까지의 용해는 1시간 정도 걸림.

○ 비이커 내부에 스크린을 설치하여 고온용착 현상 확인결과, 용착 현상이 발생되지 않아 Pilot 규모 장치 운전시 교반기능 없이도 15% PVA 용액제조가 가능할 것으로 판단됨.

2.2 PVA방호복의 각 공정별 방사능 제거실험

2.2.1. 폴리머 주입 및 여과

○ 제조된 15% PVA 용액을 160 μ m, 0.2 μ m 까지 여과한 후 0.2ml/l Ferriflock, 0.2 ml/l Praestol 187KH, 0.2 ml/l Praestol A 3040 LTR 응집제를 투입하여 금속물질 및 기타 핵종을 응집시킨 후 다시 160 μ m, 1 μ m, 0.2 μ m의 여과지로 160 Torr의 압력으로 감압여과 시킴.

○ Cs-137 selective media(Model : CT-30)에 반복 통과시켜 Cs 핵종 제거 수행.

2.2.2. 각 공정별 실험결과(표 1 참조)

○ 초기 13개 핵종 중 61.5%(8개 핵종)가 MDA 미만으로 나타났으며, 최종 잔류해 있는 핵종은 Co-60, Nb-95, Ag-110m, Sb-124 및 Cs-137인 것으로 나타남, 세척 후의 방사능 제거효율은 99.3%(DF 133.7)로 나타남

○ PVA 방호복에 부착되어 있던 입자성 핵종들이 용해 과정에서 다양한 입자들과 응집되어 160 μ m 필터 사용시 높은 제거효율을 얻음.

○ 선택적 세척매디어를 통과한 결과 Sb-124는 MDA 미만으로 제거되었으며, Co-60, Ag-110m 및 Cs-137의 총 방사능은 0.127Bq/g으로 처리 전보다 32.5% 감소하는 것으로 평가됨(표2참조).

○ 폴리머를 주입해 160~0.2 μ m를 이용해 단계적으로 여과한 후 방사능을 분석한 결과 최종단의 방사능은 0.0245Bq/g으로 이전 공정보다는 80.7% 감소하였으며 세척 전의 초기방사능(175Bq/g)에 비해서는 99.9%가 제거됨.

2.2.3. 최적 운전 조건 도출

● PVA 방호용품 제염 설비 운전 단계는 초음파 세탁(4회) → 용해 → 필터링 → 농축 → 배출 단계로 결정하였으며 최적 PVA 용액 및 농축 농도는 15 ~ 17%와 농축농도는 30~35%가 적합함.

● 최적의과산화수소 투입량은 659mL/OREX-kg

이고 Iron sol. 투입량은 124mL/OREX-kg로 정함
● 필터/흡착 시스템의 구축 단계는 80 μ m → 10 μ m → 1 μ m → 0.2 μ m → Cs-media 통과순으로 결정하였고 필터 시스템 순환 회수는 15회 정도가 적정회수이며 흡착탑의 Hydro Retention Time은 30 ~ 60초로 정함.

Table 1. Evolution of γ -nuclides removal efficiency for each process step

핵종		Co -60	Ag -110m	Sb -124	Cs -137	총방사능 /효율
세척 공정	오염된	2.82 E+01	6.38 E-01	1.30 E+00	2.03 E+00	1.75 E+02 Bq/g
	PVA 용품	6.41 E+00	1.15 E-01	2.78E -01	3.88E -01	3.93 E+01 Bq/g
	효율(%)	77.3	82.0	78.6	80.9	77.6
가 운전 단계 별 처리 효율	PVA 용액(16 0 μ m 여과)	3.40 E-02	6.07 E-02	1.03 E-02	1.36 E-01	2.94 E-01 Bq/g
	효율 (%)	99.9	99.5	99.9	99.6	99.3
	0.2 μ m 여과후	1.56 E-02	5.61 E-02	7.28 E-03	1.09 E-01	1.88 E-01 Bq/g
	효율 (%)	54.1	7.6	32.6	19.9	36.0
	방호 용품	1.65 E-02	1.64 E-02	-	6.07 E-02	1.27 E-01 Bq/g
	효율 (%)	-5.8	70.8	100.0	44.3	32.5
	여과후순 폴리머(16 Cs-매질)	1.05 E-02	-	6.58 E-03	7.41 E-03	2.45 E-02 Bq/g
효율 (%)	36.11	100	-	87.79	80.7	

3. 결론

○ 사용한 PVA 용품 중 방호복에 대한 제염실험을 수행한 결과 초기 13종의 감마핵종(총 방사능 농도 : 175.3Bq/g)은 최종 처리 공정 완료 후 Co-60, Cs-137 및 Sb-124를 제외한 모든 핵종이 MDA 미만으로 처리 되었으며, 최종단의 방사능 농도는 0.024Bq/g로 99.9%의 제거율을 나타냄.

○ 최종 처리된 핵종의 농도를 MDA 농도와 비교해본 결과 Co-60은 3.75배, Cs-137는 1.73배 및 Sb-124는 1.68배 높게 나타났으나, Pilot 규모 설비 운영시 연속적인 여과공정을 통해 MDA 미만으로 처리가 가능할 것으로 판단됨.

4. 참고문헌

- [1] 이의동 외 3인, "PVA방호용품 자체처리 기술개발" 하나-개발-PJ-04 하나검사기술(주), 08.13 2009.
- [2] S. Bushart PM "Emerging LLW Tech. Dissolvable Clothing" EPRI T.R 1003435 08. 2000.