

PVA 재질을 이용한 방사선작업자용 덧대기 방호용품의 활용성 향상

강덕원, 이봉도, 홍성준, 김효철
 하나검사기술(주), 경기도하남시초이동337-10
world2is@naver.com

1. 서론

원전 작업들은 방사선 작업을 위해 다양한 형태의 방호용품을 사용한다. 그 중에서도 제일 많이 사용하는 용품은 방호복으로, 사용 재질이 면, 비닐 및 합성섬유 등으로 다양하다. 일정기간을 사용하다 오랜 사용으로 해졌거나 오염도가 높을 때는 새것으로 교체하며, 22개의 원전이 정상운전 및 핵연료 교체를 위한 정기적인 보수 작업이 이루어지기 때문에 발생폐기물량 또한 만만치 않다. 처분비의 상승으로 드럼당 1,000만원을 조만간 상회할 예정에 있어 폐기물발생 사업사의 입장에서는 발전원가에 부담을 덜기 위해 폐기물발생량을 저감시키기 위한 목표를 설정하여 2015년까지는 현재의 절반 수준으로 폐기물발생을 줄이기 위한 노력을 경주하고 있다. 본 연구에서는 기존 면방호복 및 나일론 재질의 LS방호의 활용효율 향상과 폐기물 저감화 측면에서 수용성 재질의 PVA(Poly Vinyl Alcohol) Sheet를 주요 오염부위(팔, 무릎, 힙)에 탈부착이 가능한 덧대기 형태로 적용하는 방안에 대해 기술하였다.

2. 본론

현재 국내 원전의 방사선관리구역에서 착용하는 작업복은 혼방섬유 방호복과 나일론 재질의 방호복 및 PVA 재질의 수용성 방호복이 있다. 작업복의 폐기시점은 일정하지는 않으나 통상적으로 장기간 세탁 사용에 따른 노화나 기름오염지역 및 협한 작업에 따른 재사용 불가와 고 오염에 따른 타 작업복의 오염전이 등을 고려해 육안 및 설정된 선량값을 초과 시에 교체 폐기하고 있다. 최근 들어, 전 원전을 대상으로 발생하는 모든 폐기물에 대해 50% 이상 발생량을 저감시키기 위한 노력을 경주해오고 있다(표 1. 참조). 본 연구에서는 이러한 목표 설정에 초점을 맞추어 효율적인 방호복 관리방안을 제시하였다. 작업복을 보다 오랫동안 깨끗하게 사용, 관리함으로써 장시간 사용에 따른 경제적 효과 및 방사성폐기물 발생량 저감화에도 기여할 수 있는 효율적인 적용방안에 대한 검토와 이에 따른 효과도 함께 모색하였다.

Table 1. Statuses of Low-Medium Radwaste Generation

구분	2003년		2004년		2005년		계(비율%)	
	발생 현황 (%)	비용 (%)	발생 현황 (%)	비용 (%)	발생 현황 (%)	비용 (%)		
농축 폐액	263	6	306	9	189	4	758 (6)	
폐수지	418	10	337	10	405	9	1,160 (10)	
폐필터	60	1	32	1	24	1	116 (1)	
잠고체	가연성	2,074	49	1,706	48	2,206	51	5,985 (50)
	비가연성	1,382	33	1,137	32	1,470	34	3,990 (33)
계(드럼)	4,197	100	3,518	100	4,294	100	12,009 (100)	

2.1 덧대기 방호용구 디자인 및 적용성

다음에 기술한 바와 같이 혼방섬유 방호복, LS 및 PVA 방호복은 서로 장·단점을 지니고 있음을 알 수 있다.(표 2. 참조) 국내 원전의 경우는 장기간 사용이 가능한 면 방호복이 전체 사용량의 90% 이상을 점유하고 있으나 최근 들어 대규모 공사시 작업자 방호나 폐기물 발생량 저감을 위해 고기능성 재질의 PVA 방호복이나 LS방호복으로 바꾸어 사용하는 추세이다. 또한, 기존 사용했던 방호복도 폐기물발생량을 줄이기 위해 기존보다 1/2 정도로 가벼운 면방호복을 개발 중에 있다. 미국 원전의 경우는 폐기물발생량 측면과 착용감 및 대량 사용에 따른 방호용품 비용 인하로 80% 이상의 원전이 수용성방호복인 PVA방호복을 사용하고 있다. 본 논문에서는 어떤 종류의 방호복을 사용하든지 착용하는 방호복의 사용 수명을 연장하고 폐기로 인한 발생량을 최소화하기 위해 수용성 재질(PVA)을 가공해 덧대기 형태로 설계, 제작하여 오염 집중부위만 탈·부착하여 사용하도록 고안하였다.

Table 2. Comparison of Splint Material for Radiation Workers

항목	PVA 방호복 (OREX Ultra)	LS 방호복 (Protech Plus)	면방호복 (Poly Cotton)
사용회수	세척하여 재사용 노화/오염도에 따라 교체	세척하여 재사용 노화/오염도에 따라 교체	1회 사용 2~3회 재사용
무숨울	-4,139g/24hr-m ² -팜 배출 능력 매우 우수	-1,447g/24hr-m ² -팜 배출 능력 미흡	-1,992g/24hr-m ² -팜 배출 능력 미흡
입자투과시험	0% -입자투과 방호능력 완벽	54% -방호 능력이 미흡 -잔류 오염 누적	54% -LS 방호복과 동일 -잔류 오염 누적
밀도	65g/m ² -가볍다.	102g/m ² -가볍다.	280g/m ² -무겁다.
내구성	강함	강함	강함
기타	-일회용품 -위생적, 경제적 -폐기물발생 제로화	-세탁 후 반복사용 -압축, 소각, 유리화 -2차폐기물발생	-세탁후 반복사용 -압축, 소각, 유리화 -2차폐기물발생

2.2 PVA의 구조 및 물성

- PVA는 PVA와 같은 비닐에스터 중합체의 비누화에 의해 만들어지는 가지가 없는 선형고분자임.

Table 3. Comparison of Poly Vinyl Alcohol(PVA) Property

명칭(약어)	P.V.A	
화학명	PolyVinylAlcohol	
분자식	(CH ₂ CHOH) _n	
분자구조	$\left[\begin{array}{c} \text{[CH}_2\text{-CH]} \\ \\ \text{OH} \end{array} \right]_n$	
화학적특성	결정 녹는점(°C)	200
	비중 (물=1)	1.27~1.31
	물 용해도 (%)	100(가용성)
	水酸化 온도(°C)	10~100°C(비누화 정도에 따라 다름)
물리적특성	표준 수분율(%)*	5
	신장율 (%)	55
소각시 생성물	CO ₂ , H ₂ O	
용도	면대체 섬유, 작업복, 학생복, 속옷 등	

2.3 PVA의 분해메카니즘

- PVA 물질은 수용성 재질로 100°C 정도의 물에 용해시켜 CO₂와 H₂O로 완벽하게 산화시키는 기술로, 분해의 촉진을 위해 펜톤반응을 사용한다. 펜톤반응은 과산화수소와 촉매로 작용하는 2가 철(Fe²⁺)의 반응을 통해 산화성이 우수한 화학종인 수산화라디칼(OH·) 메커니즘에 의해 연속적으로 분해되어 가는 과정임.

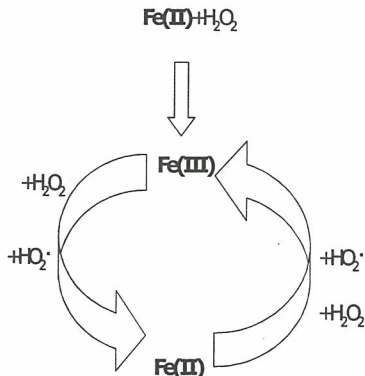


Fig. 1. Mechanism of Fenton's Reaction by Fe(II)

2.4 PVA 물질의 제조 특성

- PVA 합성 섬유는 강도, 내마모성, 내구성 이 뛰어나고 내열성, 내광성도 좋으며 합성 섬유 중 흡수성이 가장 뛰어나.
- 비닐에스테르 계열의 전구체를 합성하고 이 들을 알칼리나 산으로 가수분해시켜 제조.

2.5 PVA 재질의 덧대기 용품 디자인 및 장점

- 방사선작업시 신체와 접촉 가능성이 높은 부위에 탈·부착이 가능한 형태의 덧대기를 사용해 방호복의 전면 오염 확산 방지로 재 활용 및 장기 사용 가능토록 유도.
- 가공성이 뛰어난 PVA재질 사용으로 대상 부위의 신체 형상에 적합하게 디자인 가능 (그림 2, 3 참조).
- 수용성 재질로 용해 후 열분해 처리시켜 폐기물 발생량 제로화.
- 방호복의 활용성 제고 및 구매비용 절약효과 과 발생 폐기물량 감소에 따른 처분비용 절감.

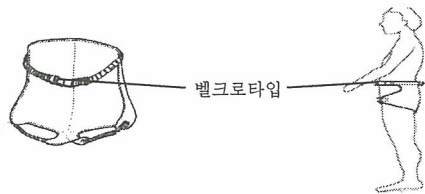


Fig. 2. Splint for Hip Contamination Protection

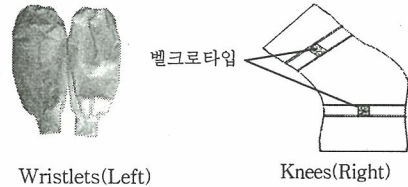


Fig. 3. Splint for Wristlets and Knee's Contamination Protection

3. 결론

원전 방사선 작업자들이 착용하는 방호복을 사용수명 연장 및 폐기물 저감화와 처분비용 절감 차원에서 물에 녹는 수용성 합성섬유를 주요 접촉오염 부위에 덧대기하여 사용할 수 있는 방안을 제시하였다. 착용 신체부위의 형상을 고려하여 디자인 하였기에 착용감도 좋으며 탈·부착이 용이해 방사선 관리용품의 효율적 사용 측면과 폐기물 감용 측면에서 매우 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

[1] EPRI Report 1003435."Emerging LLW Technologies Dissolvable Clothing", pp.32-35, 2002.
 [2] 원자력발전소 방사선 관리 연보(2004).
 [3] PVA방호용품 자체처분(하나-개발-PJ-04).