

# 원전 해체 시 방사성금속폐기물 발생량 감소를 위한 RESRAD-RECYCLE 코드 적용성 평가 연구

김동민, 이상헌, 김선일, 조훈조, 송종순\*  
 조선대학교, 광주광역시 동구 필문대로 309  
 mfest@naver.com

## 1. 서론

최근 고리1호기 원전의 영구정지 결정과 더불어 현재 운전중인 원자력발전소들이 설계수명에 다다르고 있다. 설계수명에 도달한 원전은 연장운전 또는 영구정지에 따른 해체를 고려해야 한다. 해체를 고려할 경우 국내에서는 해체비용을 약 6,000억원으로 예상하고 있으며 기간은 15년으로 예측하고 있다. 특히, 해체 폐기물량 산정은 원전 해체 비용산정에 있어서 큰 비중을 차지하고 있다. 1차계통의 주요 계통 및 기기를 제외한 대부분의 폐기물은 저준위 또는 극저준위 폐기물로 분류되며 폐기물량 산정 및 처분비용에 결정적인 역할을 한다. 본 논문에서는 RESRAD-RECYCLE 코드를 활용하여 실제 해체시 발생이 예상되는 폐기물에 대한 자체처분 가능성을 제시하기 위해 사전연구를 수행하였다. 본 연구의 목표는 원자력 발전소 해체 시 발생하는 방사성금속폐기물을 자체처분하기 위한 작업자 및 일반인의 위해도를 평가하고 폐기물량 및 처분비용을 줄이는데 있다.

## 2. 본론

### 2.1 RESRAD-RECYCLE 전산코드 개요

RESRAD-RECYCLE 전산코드는 규제해체된 철재와 알루미늄의 재활용 및 재이용 과정에서 유발되는 방사선학적 영향을 평가하기 위한 목적으로 US DOE(Department of Energy)의 지원 하에서 ANL(Argonne National Laboratory)의 EDA(Environmental Assessment Division)에서 개발하였고, 방사성금속폐기물의 재활용 공정 별 수집, 운반, 처리 작업자(Worker)와 소비자 및 공공재를 이용하는 일반인(Public)에 대한 잠재 피폭선량 및 위해도를 평가하는 전산코드이다. 총 41개의 시나리오 및 54개의 핵종에 대해 평가가 가능하다.

Fig. 1은 RESRAD-RECYCLE 전산코드에서 고려한 금속폐기물 재활용 과정을 도식화하여 나타낸 것이다.

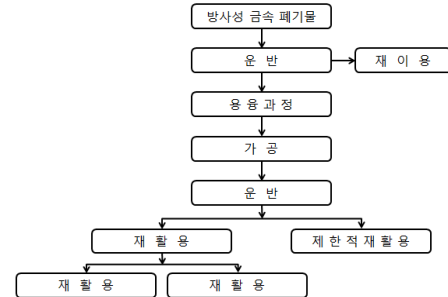


Fig. 1. A Conceptual Diagram of the Recycling Process.

### 2.2 선량평가대상 및 선원항

본 연구에서는 방사성금속폐기물량 감소를 위한 위해도 평가를 위해서 1차계통 내에 증성자에 의해 방사화된 기기 중 봉산회수탱크(Boron Recovery Tank) 배관을 평가대상으로 선정하였다. 봉산회수탱크는 1차냉각설비로부터의 추출수 및 격납용기냉각재 드레인 등을 냉각재저장탱크에 수집, 저류한 후 봉산회수장치에서 탈가스, 증발농축처리하는 설비인 봉산회수계통(Boron Recovery System)으로 분류된다.

봉산회수탱크 배관에서는 Co-60, Ag-110 m 두 핵종이 검출되었으나, 실제 자체처분 시 작업자와 일반인에 영향을 미치는 방사성핵종이 더 많을 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 작업자와 일반인에 영향을 미치는 방사성핵종을 분석하였으며, 현장 실제측정값을 기반으로 Co-60 대비 핵종농도비를 이용하여 Sr-90, Cs-134, Cs-137, Ce-144의 핵종농도를 도출하여 평가에 적용하였다.

처리량은 0.024 t이고, 방사성핵종별 농도는 Table1과 같이 설정하였다.

Table 1. Concentration of Specific Radionuclide

핵종	농도 (Bq/g)
Co-60	1.66E+01
Ag-110m	9.59E+01
Sr-90	1.01E+00
Cs-134	7.58E-01
Cs-137	6.47E-01
Ce-144	2.27E+00

### 2.3 선량평가방법

RESRAD-RECYCLE 전산코드를 이용한 작업자와 일반인의 선량평가를 수행하기에 앞서 내부피폭 선량환산인자(Dose Conversion Factor)를 국내 실정에 맞게 ICRP60으로 수정해야한다. 작업자의 경우 ICRP72에 명시되어있는 호흡과 섭취에 대한 선량환산인자를 적용하여 내부피폭선량을 평가하였으며 일반인은 연령군별 선량환산인자의 차이를 보정하기 위해 보수적으로 호흡과 섭취의 선량환산인자를 두 배로 적용하여 내부 피폭선량을 평가하였다. 호흡에 대한 작업자와 일반인의 AMAD(Active Median Aerodynamic Diameter)는 ICRP 68에 근거하여 작업자는 5  $\mu$ 의 AMAD, 일반인은 1  $\mu$ 의 AMAD를 적용하였다. 자체처분을 위한 선량 평가 시 코드 내에 작업자와 일반인의 시나리오를 국내 실정에 맞게 선별해야한다. 본 논문에서는 보수적인 평가를 위해 41개의 시나리오 중 금속에 대한 모든 시나리오(38개)를 평가하였다. 자체처분을 위해서 국내 원자력법에서 정하고 있는 "방사성폐기물 자체처분에 관한 규정" 개인에 대한 연간 피폭방사선량 10  $\mu$ Sv/y 미만, 집단에 대한 총 피폭방사선량이 1 man·Sv/y 미만을 만족해야한다.

### 2.4 선량평가결과

RESRAD-RECYCLE을 이용하여 원전 영구정지 직후를 기준으로 피폭선량을 평가한 결과 Fig. 2와 같이 작업자 시나리오는 선량한도를 만족하지만 일반인 시나리오는 만족하지 못함을 알 수 있다.

Scenario	Individual (uSv & person-Sv)		Collective		Cumulative	
	Dose	Rank	Dose	Rank	Dose	Rank
Scrap Delivery: Scrap Caster	5.97E-04	33	1.79E-09	33	1.79E-09	33
Scrap Delivery: Scrap Loader	9.55E-04	29	1.71E-09	34	1.71E-09	34
Scrap Delivery: Scrap Truck Driver	7.82E-04	30	3.76E-09	28	3.76E-09	28
Scrap Smelting: Scrap Processor	6.08E-04	32	1.02E-09	32	1.02E-09	32
Scrap Smelting: Smelter Yard Worker	5.49E-03	19	5.49E-08	19	5.49E-08	19
Scrap Smelting: Smelter Loader	1.04E-03	28	5.10E-09	26	5.10E-09	26
Scrap Smelting: Furnace Operator	3.68E-03	23	1.10E-08	25	1.10E-08	25
Scrap Smelting: Baghouse Processor	2.69E-04	34	2.69E-10	37	2.69E-10	37
Scrap Smelting: Refractory Worker	4.02E-03	20	1.21E-08	23	1.21E-08	23
Scrap Smelting: Ingot Caster	2.01E-03	26	4.02E-09	27	4.02E-09	27
Scrap Smelting: Small Object Caster	9.91E-02	15	1.99E-07	17	1.99E-07	17
Scrap Smelting: Slag Worker	2.63E-04	35	2.63E-10	38	2.63E-10	38
Ingot Delivery: Ingot Loader	1.09E-03	27	2.16E-09	30	2.16E-09	30
Ingot Delivery: Ingot Truck Driver	2.39E-03	25	1.19E-08	24	1.19E-08	24
Initial Fabrication: Storage Yard Worker	3.91E-03	21	3.91E-08	20	3.91E-08	20
Initial Fabrication: Sheet Maker	1.44E-04	36	2.16E-09	31	2.16E-09	31
Initial Fabrication: Coil Maker	6.73E-04	31	6.73E-10	36	6.73E-10	36
Final Fabrication: Sheet Handler	1.43E-04	37	2.87E-09	29	2.87E-09	29
Final Fabrication: Coil Handler	5.38E-02	17	2.69E-07	16	2.69E-07	16
Product Distribution: Product Loader	1.09E-02	18	2.16E-08	18	2.16E-08	18
Product Distribution: Product Truck Driver	3.82E-03	22	1.91E-08	22	1.91E-08	22
Product Distribution: Sheet Assembler	2.97E-03	24	1.91E-08	19	1.91E-08	19
Product Distribution: Warehouse Worker	7.72E-02	16	3.87E-07	15	3.87E-07	15
Consumer Product: Packing Lot	1.25E-01	11	3.05E-06	12	3.05E-06	12
Consumer Product: Room/Office	4.88E-03	1	4.45E-04	7	1.20E-03	7
Consumer Product: Apartment	1.31E-02	8	1.35E-04	8	3.19E-04	8
Consumer Product: Automobile	3.92E-03	4	7.54E-04	6	1.78E-03	6
Consumer Product: Office Furniture	2.26E-03	5	3.80E-03	3	8.97E-03	3
Consumer Product: Home Furniture	4.27E-03	2	6.15E-03	2	1.45E-02	2
Consumer Product: Frying Pan	8.57E-01	9	8.43E-04	5	1.99E-03	5
Public Product: Pallet	1.21E-03	13	2.99E-06	13	8.76E-06	13
Public Product: Building with Rebar	9.78E-02	7	3.85E-05	10	1.18E-04	10
Public Product: Bridge	2.07E-01	10	8.14E-05	9	2.19E-04	9
Controlled Product: Shield Block	6.55E-02	12	6.55E-06	11	1.57E-05	11
Controlled Product: Waste Container	5.13E-01	14	5.13E-07	14	1.21E-06	14
Reuse Product: Tool Reuse	1.94E-03	6	1.94E-03	4	5.80E-03	4
Reuse Product: Building Reuse	4.00E-03	3	1.60E-02	1	5.40E-02	1
Scrap Transportation: Public Exposure	0.00E+00	38	7.99E-10	35	7.99E-10	35

Fig. 2. The Exposure Dose of the Worker and Public by Evaluation.

이와 연계하여, 일반인 시나리오에 대해 자체처분 허용선량을 만족하는 시점을 찾기 위해 제염계수(DF)를 적용하여 평가를 수행하였고 자체처분 허용선량을 만족하는 시점이 Table 2와 같은 결과로 도출되었다.

Table 2. Clearance Permission Time Depending on Decontamination Factor

제염계수(DF)	방사능제거율	자체처분 허용시점
5	80%	48년 후
10	90%	28년 후
50	98%	5년 후
100	99%	2년 후

작업자와 제염을 고려한 일반인의 모든 시나리오에 대해 자체처분 가능여부를 확인하기 위해서 선량을 평가한 결과 자연해체 시 제염계수(5)이상, 즉 시해체 시 제염계수(50)이상이면 자체처분이 가능할 것으로 판단된다.

### 3. 결론

원전 영구정지 후 해체를 대비하기 위해서는 방사성 금속폐기물의 처리비용 및 해체기간을 줄일 수 있는 연구가 필요하다. 이에, 본 논문에서는 자체처분을 위한 평가방법으로 RESRAD-RECYCLE 전산코드를 활용하여 작업자와 일반인의 피폭선량을 선행평가 하였다. 본문에서는 국내 실정에 맞는 입력 Data 확보의 한계로 인하여 코드에서 제시하는 Default값을 인용한 평가를 수행하였으나 향후, 국내 실정에 맞는 합리적인 입력인자를 구축하여 작업자와 일반인에 대한 위해도를 평가할 필요가 있다. 이는 발전소 해체 시점과 제염수행여부를 파악하기 위한 사전자료 활용할 수 있을 것이며 폐기물량 재산정을 통한 해체비용과 해체기간을 줄이는데 도움이 될 것으로 예상된다.

### 4. 참고문헌

- [1] ANL/EAD-3, RESRAD-RECYCLE: A Computer Model For Analyzing the Radiological Doses and Risks Resulting from the Recycling of Radioactive Scrap Metal and the Reuse of Surface-Contaminated Material and Equipment. 2000.
- [2] 홍상범, 이봉재, 정운수 "연구로 1,2호기 해체 철재 폐기물의 규제해제농도기준(안) 도출을 위한 연구" Vol.2(1), 61-67(2004).
- [3] 김아름 "자체처분 방사성금속폐기물 오염도 평가 방안 및 재활용 기준 제시", 경희대학교, 2009.