

## 원자력발전소 해체 방사성폐기물 처분 적합성 검증을 위한 인수기준 이행 흐름도 개발

김창락, 이선기\*, 김 현, 성석현, 박해수, 공창식  
한국전력국제원자력대학원대학교 원전해체·방사성폐기물 연구소

### Development of an Acceptance Criteria Implementation Flow Chart for verifying the Disposal Suitability of Radioactive Waste from Decommissioning of Nuclear Power Plants

Chang Lak Kim, Sun Kee Lee\*, Heon Kim, Suk Hyun Sung, Hae Soo Park, Chang Sig Kong  
*Nuclear D&D and Radwaste Research Center, KEPCO International Nuclear Graduate School*

**Abstract** : When the decommissioning of South Korea nuclear power plants is promoted in earnest with the permanent shutdown of Kori Unit 1 in 2017, a large amount of various types of radioactive waste will be generated. For minimal generation and safe management of decommissioning waste, the waste should be made by appropriate classification of the dismantling waste characteristics in accordance with physical, chemical and radiological characteristics to meet the acceptance criteria of disposal facilities. Replacing the preliminary inspection at the site for the compliance of the waste acceptance criteria (WAC) of medium and low-level radioactive waste with the generator's own radioactive waste certification program (WCP), from the perspective of disposal, the optimization of waste management at the national level contributes to the efficient availability of disposal, such as the processing of non-conforming radioactive wastes at the site. To this end, it is important to evaluate radioactivity in each system and area such as nuclear reactors before decommissioning is carried out in earnest, and the prior removal of harmful wastes is important. From waste collection to waste disposal, decommissioning waste should be managed at each stage in consideration of the acceptance criteria of disposal facilities to minimize the generation of non-conforming waste.

**Key Words** : NPP Decommissioning, Concrete waste, Metal waste, Waste Acceptance Criteria, Disposal facility

**Received:** April 7, 2021 / **Revised:** April 28, 2021 / **Accepted:** June 30, 2021

\* 교신저자 : Sun Kee Lee / [penda1226@naver.com](mailto:penda1226@naver.com)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

## 1. 서론

해체 폐기물을 최소한으로 발생시키고 안전한 관리를 위해서는 해체 폐기물 물리적, 화학적, 방사선적 특성을 고려하여 적절하게 분류하고 폐기물이 처분시설의 인수기준에 적합하도록 처리해야 한다.

해체 폐기물은 방사선 측면에서 대부분이 비방사성폐기물이고 그 외의 폐기물 중에서도 거의가 규제해체 폐기물인 자체처분 폐기물과 극저준위 방사성폐기물이 발생되고, 중·저준위방사성폐기물 발생량은 극히 일부에 해당한다. 따라서 발생하는 방사성폐기물의 분류를 잘하여 이에 따른 관리를 철저히 하고, 각 분류된 방사성폐기물의 처분에 대한 안전규제 방안을 수립하여 안전성을 확보하여야 할 것이다.

산업통상자원부 고시 제2016-230호“방사성폐기물 인수방법 등에 관한 규정”에 따라 중·저준위 방사성폐기물의 처분장 폐기물인수기준(WAC, waste acceptance criteria) 적합성에 대한 발생지 예비검사를 발생자의 자체 방사성폐기물 인증프로그램(WCP, waste certification program)으로 대체하면 처분 관점에서 국가 차원의 폐기물 관리 최적화(발생량 최소화, 재활용 최대화, 감용 극대화, 처분 수용 입증성 향상)로 부적합 방사성폐기물의 발생지 처리 등 효율적인 처분수용성 확보에 기여하게 된다.[1]

발생자는 방사성폐기물관리시스템 정보를 처분수용성 검증에 활용하여 처분 수용성을 과학기술적으로 검증하고, 발생관리 단계에서 처분 최적화를 유도하여, 방사성폐기물 발생에서부터 처분장에 인도할 때 까지 각 처리 단계별로 처분장에서의 인수조건에 적합한지를 확인하고 조치한다.

그 결과 처분자의 발생지 예비검사 및 처분시설 인수검사 등 간소화, 폐기물 반송 또는 처분장에서의 재포장 작업 최소화로 처분에 소요되는 시간 및 비용 절감과 킬레이트제, 유리수, 유해물질 등이 방사성폐기물에 포함되는 것을 사전에 배제하여 인도 및 인수 기준의 정성적 제한치 만족을 사전에 인정하여, 다량으로 발생하는 해체폐기물의 인도인수 절

차를 신속하게 처리하고, 불만족 되어 반송되는 사례를 최소화 할 수 있다.

본 연구에서는 해체 폐기물의 대부분을 차지하는 금속과 콘크리트 처리시 방사성폐기물 스트립별 인수기준 확인 위치 및 방법을 검토하여 처분적합성 인증을 위한 프로세스 기반의 시나리오, 해당 요구사항 정의 및 구성, 처분적합성 인증 체계와 방사성폐기물 처분적합성 수행항목 흐름도를 예시하여, 처분적합성 인증을 위해 검사해야 하는 항목을 설명하고 알기 쉽게 인증 조직별로 배분하고 검사항목이 빠짐없이 수행할 수 있도록 하였다.[2]

<Table 1> Decommissioning radioactive waste classification and disposal option

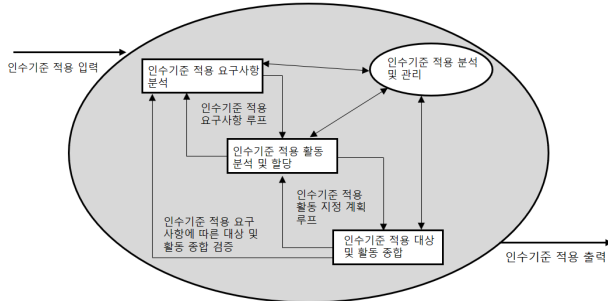
폐기물 구분		폐기물 분류	처분방식
금속 폐기물	원자로	압력용기	동굴, 표층, 매립형
		내부 구조물	장기저장 (중준위) 동굴, 표층, 매립형
	대형 기기	중기 발생기 등	동굴, 표층, 매립형
		중기 발생기 세관	동굴, 표층, 매립형
	소형금속류	동굴, 표층, 매립형	
	사용후핵연료 저장대	동굴, 표층, 매립형	
콘크리트 폐기물	스케블드 콘크리트	동굴, 표층, 매립형	
	콘크리트 조각	동굴, 표층, 매립형	
	생체차폐체	동굴, 표층, 매립형	

## 2. 인수기준 확인 위치 및 방법 검토

### 2.1 인수기준 이행 흐름도 개발 프로세스

SE 표준프로세스를 연구주체에 적합하게 특정하고 구체화할 수 있도록 MIL-STD-499의 프로세스 구성항목을 유지하되 해당 표현을 변경하고 각

항목에 대한 설명과 검토내용을 2.2~2.5항에서 다루었다.

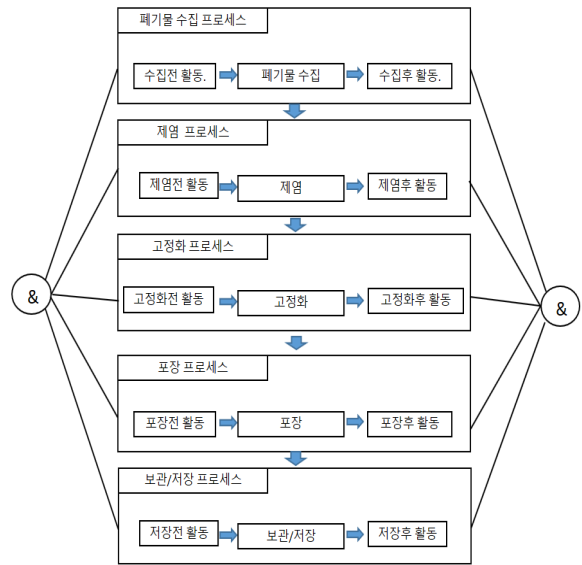


[Figure 1] Development process of acceptance criteria implementation flow chart

- 인수기준 적용 입력  
-해당 항목: 2.1항
- 인수기준 적용 요구사항 분석  
-해당 항목: 2.3항
- 인수기준 적용 활동 분석 및 할당  
-해당 항목: 2.4의 1)항 및 2.5항
- 인수기준 적용 요구사항 루프  
-해당 항목: 2.3항 및 2.5항
- 인수기준 적용 대상 및 활동 종합  
-해당 항목: 2.5항
- 인수기준 적용 활동 지정 계획 루프  
-해당 항목: 2.4의 2)항
- 인수기준 적용 분석 및 관리  
-해당 항목: 2.4의 2)항
- 인수기준 적용 요구사항에 따른 대상 및 활동 종합 검증  
-해당 항목: 2.3항 및 2.5항
- 인수기준 적용 출력  
-해당 항목: 2.5항

## 2.2 처분적합성 인증 시나리오

처분적합성 인증 시나리오는 그림 2와 같이 폐기물 발생 후 수집, 제염, 고정화, 포장 및 보관/저장단계에서 처분적합성을 검사하는 프로세스로 구성한다.



[Figure 2] Waste disposal suitability verification scenario with processes

## 2.3 처분적합성 확인을 위한 요구사항 정의

원전해체시 대규모로 발생하는 콘크리트와 금속 폐기물은 수집, 제염, 용융, 고정화, 포장, 보관/저장을 거쳐 처분장으로 이동하게 된다. 이러한 폐기물의 처리단계에 따라 처분적합성을 확인하기 위한 요구사항을 정의한다. 그림 3은 해당 요구사항을 구별하기 위해 요구사항 번호를 붙였다. 그림 4는 이러한 요구사항 구조와 요구사항이 적용되는 기본 프로세스를 설명한다.

처리공정은 처리위치에 따라 구분되는데, 해체현장에서는 절단-방사선량률 측정-처리시설로 반출이 되고 해체방사성폐기물 종합처리시설에서는 세부절단-제염-고정화-포장-종합처리시설 내 임시저장후 처분인도가 된다. 폐기물 수집, 제염, 고정화, 포장 및 임시저장은 아래에 설명되는 금속폐기물 및 콘크리트 폐기물의 처분적합성 검증 요구사항을 적용하게 된다. 원자력 및 방사성폐기물 전문분야(Domain)의 실무를 시스템엔지니어링 관점에서 재구성하기 때문에 여기서 설명되는 요구사항 및 처리공정/프로세스는 상용화 및 입증된 것이기에 그 근거를 상세히 설명하지 않는다.

폐기물 구분	폐기물수집 시 저분적합성 검증 요구사항	제염시 저분적합성 검증 요구사항	용융시 저분적합성 검증 요구사항	고정화시 저분적합성 검증 요구사항	포장시 저분적합성 검증 요구사항	포장물에 대한 저분적합성 검증 요구사항	보관/저장시 저분적합성 검증 요구사항
방사화 금속폐기물	R.1.1.1	R.1.1.2	-	R.1.1.3	R.1.1.4	R.1.1.5	R.1.1.6
표면오염 금속폐기물 (중용대상)	R.1.2.1	R.1.2.2	R.1.2.3	-	R.1.2.4	R.1.2.5	R.1.2.6
비 중용대상 금속폐기물	R.1.3.1	R.1.3.2	-	R.1.3.3	R.1.3.4	R.1.3.5	R.1.3.6
방사화 콘크리트폐기물	R.2.1.1	R.2.1.2	-	R.2.1.3	R.2.1.4	R.2.1.5	R.2.1.6
중용대상 스캐블드 콘크리트 폐기물	R.2.2.1	R.2.2.2	R.2.2.3	R.2.2.4	R.2.2.5	R.2.2.6	R.2.2.7
비 중용대상 스캐블드 콘크리트 폐기물	R.2.3.1	R.2.3.2	-	R.2.3.3	R.2.3.4	R.2.3.5	R.2.3.6

[Figure 3] Process based requirement definition matrix for waste disposal suitability verification requirements

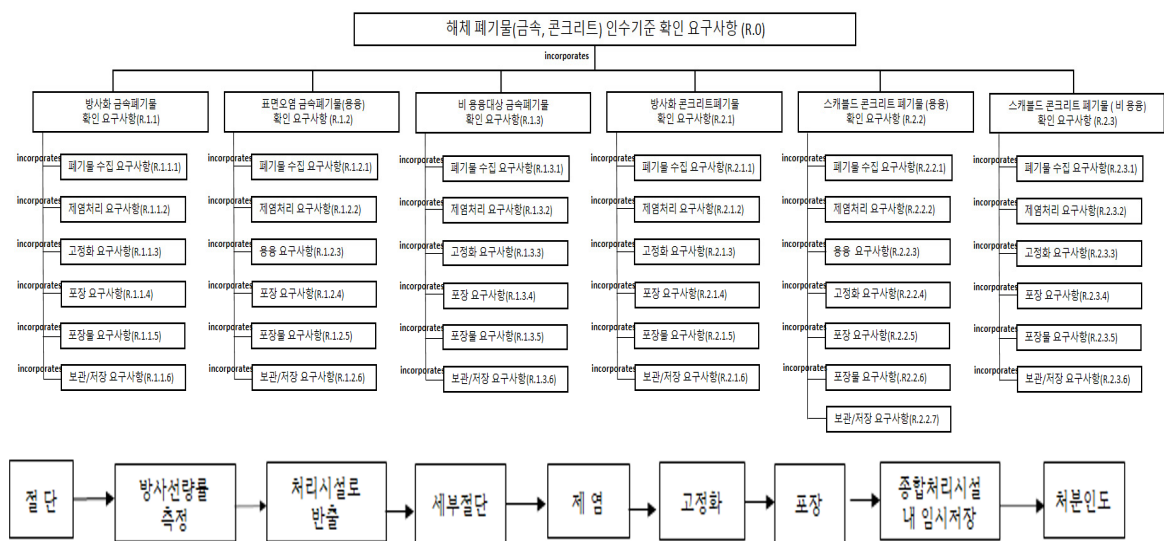
### 2.3.1 금속 폐기물

해체 중에 발생하는 방사성 금속폐기물의 인수기준 확인 가능위치 및 방법에 대해 고리 원자력발전소 1호기 발전용원자로 및 관계시설의 해체계획서(주민공람용)에 기술된 종류별 금속폐기물 처리방안과 동굴처분의 폐기물 인수기준을 토대로 하여 아래와 같이 검토하였다. 해체폐기물 처리방법, 표층처분 및 매립형처분 인수기준이 제정되면 인수기준 확인 가능위치와 방법이 변경되어야 할 것으로 판단된다. [2,3]

### a) 방사화 금속폐기물

방사화 금속폐기물인 원자로 내부구성품과 원자로는 기기 설치현장에서 해체하기 전에 재질, 크기, 오염상태 등을 파악하고, 핵종의 종류와 크기는 전산코드를 이용한 핵종분석 결과와 시료를 채취하여 평가한 분석결과를 비교 및 보정하여 해당 폐기물의 핵종과 방사능 크기를 결정한다.

한편 폐기물에 함유가 금지된 물질(비가연성, 발화성, 유해성, 폭발성, 부식성, 기체발생, 인화성, 감염성 등)은 본격적인 해체작업 전에 우선적으로 제



[Figure 4] Waste disposal suitability verification requirements breakdown with waste treatment processes

거하여 별도의 용기로 분류한다.

방사화 금속폐기물의 인수기준 확인위치는 폐기물 수집부터 포장된 용기의 보관 및 저장까지 분류하였고, 각 위치별 확인방법을 아래와 같이 제시하였다.

(1) 폐기물 수집(R.1.1.1)

방사화 금속폐기물은 방사선량률이 높은 편으로 취급에 따른 피폭선량을 줄이고자 절단 전에 핵종분석과 시료채취에 의한 핵종 평가결과를 바탕으로 원전체제 현장에서 방사능 준위별, 품목별로 절단하고 용기별로 분류 수집한다. 절단된 원자로 내부구성품은 배플, 배럴 등 품목별로 구분하되 오염준위가 중준위인 금속은 장기저장 대상으로 현장에서 포장용기에 넣어 사용후핵연료 저장시설 등 보관 장소로 이동한다. 그 외 저준위, 극저준위에 해당하는 내부구성품과 절단된 원자로는 운반용기에 넣어 종합처리시설로 운반한다.

방사성 금속폐기물을 수집할 경우에는 처분 금지물질이 들어가지 않도록 확인해야 하고, 금속폐기물이 수집된 용기별로 번호 등을 부여하고, 품목, 방사능 준위 등을 기록하여야 한다.

(2) 필요시 제염처리(R.1.1.2)

방사화 금속폐기물은 제염효과는 낮으나 폐기물 준위가 경계선상에 있어 준위를 낮출 수 있는 경우 제염을 수행한다. 이 경우 제염방법에 따라 핵종농도가 변하므로 제염제 등을 고려하여 핵종분석을 재시행해야 한다. 제염방법에 따라 다르나 필요한 경우 킬레이트제의 잔존 여부를 확인한다.

제염에 따라 핵종분석 결과가 바뀌고 폐기물 의 방사능 준위가 변동 되므로 이를 기록하고 재분류한다. 상기를 포함하여 제염일시, 제염방법 및 제염계수 등에 대한 기록과 핵종분석 결과를 기록한다.

(3) 고정화(R.1.1.3)

저준위 금속폐기물에 해당할 경우 포장용기 내에 금속폐기물을 채운 후 빈 공간을 채우기 위해 시멘

트 등으로 고정화를 한다. 이때 고정화 작업일지를 작성하여 관련 매개변수를 기록한다. 특히 채움물을 측정하고 기록한다.

일반적으로 고정화 공정의 매개변수는 수분 함유량, 폐기물 밀도, 고정화 매질과 첨가제 비율, 혼합속도, 투입시간, 양생시간 등을 고려한다. 이러한 매개변수의 변동 시에는 유효성 확인이 필요하다. 시험재료에 대해서는 주기적인 압축강도 시험이 필요하다.

(4) 포장(R.1.1.4)

극저준위 금속폐기물의 경우 포장물의 채움물을 만족시키기 위해 콘크리트 등 채움재로 채운다. 채움재 종류 및 양을 기록한다.

(5) 포장물(R.1.1.5)

포장용기는 핵종분석장치를 활용하여 핵종분석을 수행한다. 이 때 핵종별 방사능 농도를 측정하고 그 합이 총 방사능의 95% 이상임을 증명하여야 한다. 또한 포장물의 방사선량률 및 표면오염도를 측정한다. 포장용기에 고유번호를 부여하고 용기표면에 표지를 부착하고 기록한다.

(6) 보관, 저장(R.1.1.6)

포장용기는 처분을 위한 운반 전까지, 폐기물 보관고나 저장고로 이동 된다. 보관고 등은 공기오염도, 상대습도, 방사선량률 등을 적정히 유지하고 기록한다.

b) 용융대상 표면오염 금속폐기물

표면오염 금속은 증기발생기, 가압기 같은 대형기기 부터, 펌프, 배관, 모터 등 소형금속류까지 다양하다. 이들은 저준위폐기물, 극저준위폐기물, 자체 처분 대상으로 구성되어 있으므로 원전현장에서 해체하기 전에 이에 대한 재질, 크기, 오염상태 등을 파악하여야 한다. 한편 폐기물에 함유가 금지된 물질(비가연성, 발화성, 유해성 등)은 본격적인 해체 작업 전에 우선적으로 제거하여 별도의 용기로 분류

하고 처리한다.

(1) 폐기물 수집(R.1.2.1)

표면오염 대형기기 금속폐기물은 원전 계통에서 분리하여 종합처리시설로 이동한 후 부품별(재질), 방사능 준위별로 절단, 분리한다. 소형금속류는 원전해체 현장에서 방사능 준위별로 분류하여 용기별로 수집하여 종합처리시설로 운반한다. 자체처분 대상은 자체처분 창고로 운반한다. 이상 용기별로 번호 등을 부여하고 문서화 한다.

(2) 제 염(R.1.2.2)

표면오염 금속폐기물은 제염을 통해 저준위와 극저준위 금속폐기물을 극저준위 금속폐기물로 오염 준위를 낮추어 용융을 통해 자체처분되는 양이 증가하도록 한다. 제염의 매개변수로는 전기화학적 제염 경우 용액, 온도, 시간, 전압, 전류 등이 있고, 화학적 제염에는 용액, 시간, 농도, 물리적 제염은 매질, 압력, 시간이 있다.

제염에 따라 핵종농도가 크게 차이가 나므로 방사능 준위를 다시 평가해야 하고 재분류하여 이를 기록한다. 상기를 사항을 포함하여 제염방법 및 제염계수 등에 대한 기록과 방사능 준위 결과를 문서화한다.

(3) 용 용(R.1.2.3)

제염을 통해 오염준위가 낮아진 저준위 금속이나 극저준위 금속은 용융을 위해 철강(탄소강, 스테리스 강)과 비철 금속으로 분류하여 해당 금속을 용융로로 이동하여 용융을 한다.

용융과정에서 확인해야 할 사항은 용융로 운전 일지를 작성하여 배치번호, 일시, 운전시간, 운전온도 등을 기술하고 금속 종류, 플럭스 조성, 슬래그 발생량 등을 기록한다. 특히 금속 종류별, 방사능 준위별 시험운영 시에는 용융 시에 척도인자 결정을 위한 시료를 채취한다.

금속폐기물을 고정화할 경우에는 고정화 일지를 작성하여 일시, 장소 등을 기술하고 고정화 재료, 재

료별 혼합비, 양생시간 등을 기록한다. 특히 채움물을 측정하고 기록한다.

(4) 포 장(R.1.2.4)

처분이 필요한 금속폐기물의 경우 포장물의 채움률을 만족시키기 위해 채움재를 채워야 하고, 채움재 종류 및 양을 기록해야 한다.

(5) 포장물(R.1.2.5)

앞 절과 동일하게 수행한다.

(6) 보관, 저장(R.1.2.6)

앞 절과 동일하게 수행한다.

c) 비 용융대상 금속폐기물

(1) 폐기물 수집(R.1.3.1)

구조물 등 용융에 의한 감용 효과가 적은 금속폐기물은 현장에서 재질별, 방사능 준위별로 절단하여 용기별로 수집하여 종합처리시설로 운반한다, 이 때 자체처분 대상 금속은 별도의 자체처분 대상 보관고로 이동한다. 이상 용기별로 번호 등을 부착하고 관련 기록을 문서화 한다.

(2) 필요시 제염(R.1.3.2)

용융에 따른 감용 효과가 적은 금속폐기물도 폐기물의 방사능 준위를 낮출 수 있는 경우 제염을 수행한다. 이 경우 제염에 따라 방사능 준위가 변하므로 핵종분석을 시행해야 한다. 제염방법에 따라 다르나 필요한 경우 킬레이트제 잔존 여부를 확인한다.

제염에 따라 핵종분석 결과가 결정되고 폐기물 준위가 변동 되므로 이를 기록하고 재분류 한다. 금속 재질 등을 포함하여 제염방법 및 제염계수 등에 대한 기록과 핵종분석 결과를 문서화 한다.

(3) 고정화(R.1.3.3)

저준위 금속폐기물 중 인수기준의 고정화 요건을 초과하는 금속폐기물은 포장용기 내에서 고정화를 한다. 이때 고정화 작업일지를 작성하여 일시, 장소

등을 기술하고 고정화 재료, 재료별 혼합비, 양생시간 등을 기록한다. 특히 채움률을 측정하고 기록한다.

(4) 포장(R.1.3.4)

극저준위 금속폐기물의 경우 포장물의 채움률을 만족시키기 위해 채움재를 채운다. 채움재 종류 및 양을 기록한다.

(5) 포장물(R.1.3.5)

앞 절과 동일하게 수행한다.

(6) 보관, 저장(R.1.3.6)

앞 절과 동일하게 수행한다.

2) 콘크리트 폐기물

콘크리트 폐기물 유형별 처리방안과 동굴처분의 폐기물 인수기준을 토대로 하여 아래와 같이 설정하였다. 해체폐기물 처리방법, 표층처분 및 매립형처분 인수기준이 제정되면 인수기준 확인 가능위치와 방법이 변경되어야 할 것이다.[2,3]

a) 방사화 콘크리트 폐기물

방사화 콘크리트는 노심 주변의 콘크리트로 주로 차폐체 콘크리트로 구성되어 있다. 차폐체 콘크리트는 저준위폐기물, 극저준위폐기물, 자체처분대상으로 구성되어 있어 원전현장에서 해체하기 전에 이에 대해 코드를 이용한 핵종분석을 수행하고 일부 시료를 채취하여 계산에 의한 핵종분석을 실제 분석결과와 비교하여 보정한다.

화학적 특성(비가연성, 발화성, 유해성, 폭발성, 부식성, 기체발생, 인화성, 감염성) 및 물리적 특성(폐기물형태, 구조적특성, 유리수, 킬레이트제)을 갖는 폐기물은 제거한다.

(1) 폐기물 수집(R.2.1.1)

방사화 콘크리트 폐기물은 원전해체 현장에서 방사능 준위를 고려하여 부분별로 절단되어 분류, 수집된다. 한편 절단 시에 핵종분석을 위한 척도인자

도출용 시료를 채취한다. 절단된 콘크리트는 방사능 준위별로 구분한다. 이 때 처분 금지물질이 들어가지 않도록 확인한다. 저준위 콘크리트폐기물과 극저준위 콘크리트폐기물은 고정화 또는 채움이 필요하므로 처리시설로 운반된다. 이상 수집 용기에는 번호 등을 부여하고 관련 기록을 작성 한다.

(2) 고정화(R.2.1.3)

저준위 콘크리트폐기물에 해당할 경우 포장용기 내의 빈 공간을 채우기 위해 시멘트 등으로 고정화를 한다. 이때 고정화 일지를 작성하여 일시, 장소 등을 기술하고 고정화 재료, 재료별 혼합비, 양생시간 등을 기록한다. 특히 채움률을 측정하고 기록한다. 이 모든 자료는 문서화한다.

일반적으로 고정화 공정의 매개변수는 폐기물 산도(pH), 수분 함유량, 유류분 함유량, 폐기물 밀도, 킬레이트제 함유량, 고정화 매질과 첨가제 비율, 혼합속도, 공급시간, 양생시간 등이 있다.

(3) 포장(R.2.1.4)

극저준위 콘크리트폐기물의 경우 포장물의 채움률을 만족시키기 위해 채움재를 채운다. 채움재 종류 및 양을 기록한다.

(4) 포장물(R.2.1.5)

앞 절과 동일하게 수행한다.

(5) 보관, 저장(R.2.1.6)

앞 절과 동일하게 수행한다.

b) 스키프드 콘크리트 폐기물(용융 시)

(1) 폐기물 수집(R.2.2.1)

상기 스키프드 콘크리트(비 용융 시)와 동일하게 한다.

(2) 용 융(R.2.2.3)

스캐블드 콘크리트를 용융하면 크게 감용이 되고 유해물질이 포함될 경우에 이를 분해시키므로 용융

하다. 이 때 용융로는 플라즈마 토치로 등을 활용한 다. 스캐블드 콘크리트 폐기물의 분류, 수집 방법은 고정화 경우와 동일하다. 저준위폐기물과 극저준위 폐기물을 구분하여 컨테이너에 수집한다. 용융로 운전 일지를 작성하여 배치번호, 일시, 운전시간, 운전 온도 등을 기술하고 콘크리트 종류, 플럭스 조성, 슬래그 발생량 등을 기록한다. 특히 시험운영 시에는 용융물에서 척도인자 결정을 위한 시료를 채취한다.

(3) 고정화(R.2.2.4)

저준위 콘크리트폐기물에 해당할 경우 포장용기 상부를 채움률을 맞추기 위해 고정화를 한다. 이때 고정화 일지를 작성하여 일시, 장소 등을 기술하고 고정화 재료에 대한 특성, 재료별 혼합비, 양생시간 등을 기록한다. 특히 채움률을 측정하고 기록한다.

(4) 포장(R.2.2.5)

극저준위 콘크리트폐기물의 경우 포장물의 채움률을 만족시키기 위해 채움재를 채운다. 채움재 종류 및 양을 기록한다.

이하 포장물, 보관/저장은 상기 스캐블드 콘크리트(고정화)와 내용이 유사하다.

(5) 포장물(R.2.2.6)

앞 절과 동일하게 수행한다.

(6) 보관, 저장(R.2.2.7)

앞 절과 동일하게 수행한다.

c) 스캐블드 콘크리트 폐기물(비 용융시)

스캐블드 콘크리트는 표면오염 콘크리트 등을 제염할 때 발생된다. 스캐블드 콘크리트도 저준위폐기물, 극저준위폐기물, 자체처분대상으로 구성되어 있어 원전 현장에서 해체하기 전에 건물 내부 시료를 채취하여 예비 핵종분석을 한다.

한편 화학적 특성(비가연성, 발화성, 유해성, 폭발성, 부식성, 기체발생, 인화성, 감염성) 및 물리적 특성(폐기물형태, 구조적특성, 유리수, 킬레이트제)을 갖는 물질은 본격적인 해체작업 전에 우선적으로

제거하여 별도의 용기로 분류하고 처리한다.

(1) 폐기물 수집(R.2.3.1)

스캐블드 콘크리트 폐기물은 원전해체 현장에서 위치, 즉 구역번호, 벽, 바닥 등을 구별하여 분류, 수집된다. 수집된 스캐블드 콘크리트는 방사능 준위(저준위, 극저준위, 자체처분 대상)를 구분하여 용기별로 구분한다. 이 때 처분 금지물질이 들어가지 않도록 확인한다. 저준위 콘크리트폐기물과 극저준위 콘크리트폐기물은 고정화 또는 채움이 필요하므로 처리시설로 운반한다. 이상 포장용기 번호 등을 부여하고 관련 사항을 기록하여 문서화 한다.

(2) 고정화(R.2.3.3)

저준위 콘크리트폐기물에 해당할 경우 포장용기 내에서 고정화를 한다. 이때 고정화 일지를 작성하여 일시, 장소 등을 기술하고 고정화 재료에 대한 특성, 재료별 혼합비, 양생시간 등을 기록한다. 특히 채움률을 측정하고 기록한다.

(3) 포장(R.2.3.4)

극저준위 콘크리트폐기물의 경우 입자성물질 여부를 판단하여 필요시 고흡화 또는 고정화를 한다. 입자성이 아닐 경우 포장물의 채움률을 만족시키도록 콘크리트를 채우고 채움률을 기록한다.

(4) 포장물(R.2.3.5)

앞 절과 동일하게 수행한다.

(5) 보관, 저장(R.2.3.6)

앞 절과 동일하게 수행한다.

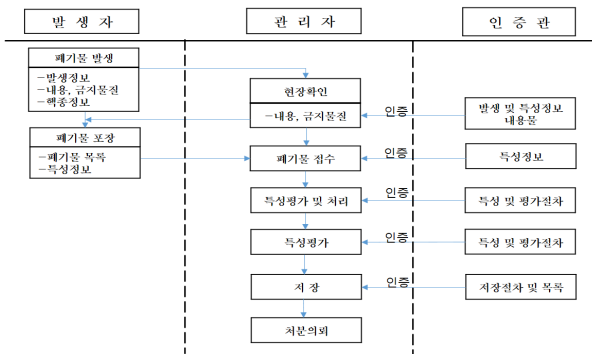
2.4 처분적합성 인증 체계

처분적합성 인증 시스템은 해체현장, 해체방사성 폐기물 종합처리시설, 처분장, 해체폐기물 스트림, 수행자(발생자, 관리자, 인증관, 품질보증책임자)로 구성한다. 해체현장 및 종합처리시설은 다양한 해체 폐기물을 발생하고 처리하는 임무를 수행한다.



1) 인증 조직 및 활동 다이어그램

원전 해체폐기물 중 다량으로 발생하는 금속 폐기물과 콘크리트 폐기물을 인수기준에 부합하는 최종 폐기물 포장물을 생산하는 조직이 필요하다. 이 조직은 폐기물 인증프로그램을 수립하고 운영하기 위한 조직으로 구성되는데 여기에는 인증업무를 수행하는 인증조직, 방사성폐기물 발생 및 처리에 관련된 인증지원 조직과 방사성폐기물 인증을 위한 품질관리 조직이 있으며 조직별 임무는 표 2와 같고 그 체계는 그림 5와 같다. 그림 5는 일종의 활동 다이어그램(Activity Diagram)을 나타낸다.



[Figure 5] Certification Activity Diagram for each Organization[4,6]

<Table 2> The Duties of the Certification Organization

조직	임무
방사성 폐기물 관리자	<ul style="list-style-type: none"> <li>인증프로그램, 특성평가 절차서 작성</li> <li>폐기물 특성규명 활동</li> <li>인증프로그램 운영, 인증 활동 지원</li> <li>폐기물의 각종 요건 준수</li> <li>폐기물 특성정보 유지</li> <li>부적합사항 시정조치</li> </ul>
인증관	<ul style="list-style-type: none"> <li>인증 프로그램 운영, 폐기물 인증활동 및 인증기록 유지</li> <li>서류 및 기록관리 상태</li> <li>부적합사항 발부 및 시정조치 요구</li> <li>인증활동의 적절성에 대한 자체평가</li> </ul>
품질보증 책임자	<ul style="list-style-type: none"> <li>품질보증 계획 및 절차서 개발</li> <li>품질보증 평가계획 수립 및 활동</li> <li>인증계획 및 수행절차 검토 및 승인</li> <li>품질보증활동 및 평가</li> </ul>

2) 방사성폐기물 인수기준 및 규명방법

인수기준 및 기준별 규명 방법은 표 3과 같이 항목별로 번호를 부여하여 쉽게 인지하고 폐기물 처리 프로세스에 할당할 수 있게 하였다.

<Table 3> Radioactive Waste Acceptance Criteria Items and Identification Method[5]

검사항목	항목 번호	규명방법
① 일반	Ⓐ 포장물 조건	1.A ●육안
	Ⓑ 폐기물 형태	1.B ●발생정보 서류/육안
	Ⓒ 폐기물 내용	1.C ●발생정보 서류/육안
	Ⓓ 중량	1.D ●무게 측정
	Ⓔ 포장물 크기	1.E ●크기 측정/구매사양
② 고형화 조건	Ⓕ 압축강도 시험	2.F ●KSF2405
	Ⓖ 방사선 조사	2.G ●NRC
	Ⓖ 침수시험	2.H ●NRC
	Ⓗ 열순환 시험	2.I ●ASTM B553
	Ⓙ 침출시험	2.J ●ANSI 6.1
	Ⓚ 유리수	2.K ●ANSI 55.1
	Ⓛ 고정화	2.L ●방사능 농도 분석
③ 방사선	Ⓜ 방사능 농도	3.M ●감마핵종분석
	Ⓝ 핵종규명	3.N ●척도인자 적용
	Ⓞ 표면 방사선량률	3.O ●방사선량률 측정
	Ⓟ 임계안전	●핵분열물질 양 결정
	Ⓠ 표면오염도	3.Q ●표면오염도 측정
④ 물리적	Ⓡ 입자성물질	4.R ●고형화, 고정화, HIC
	Ⓢ 채움물	4.S ●채움 단계별 사진촬영
	Ⓣ 유리수	4.T ●ANSI 55.1(실물)
	Ⓤ 킬레이트제	4.U ●발생 후 분류시 제거
	⑤ 화학적	Ⓥ 발화성 물질
Ⓦ 유해성 물질		5.W
Ⓧ 폭발성 물질		5.X
Ⓨ 부식성 물질		5.Y
Ⓩ 기체발생		5.Z
ⓐ 인화성 물질		5.a
ⓑ 생물, 병원균 등		5.b

2.5 방사성폐기물 처분적합성 수행항목 흐름도

해체 시나리오 및 폐기물스트림은 방사성폐기물 처리 프로세스의 정의와 구성에 영향을 준다. 예를

들어 금속과 콘크리트의 경우는 방사화 여부에 따라 적용 프로세스에 차이가 생긴다. 해체현장에서 절단된 폐기물은 종합처리시설에서 고정화 및 임시저장 후 처분인도 과정을 통해 처분장에서 인수하게 된다.

스트림별 인수기준 확인 위치 및 방법 분석과 인수기준별 번호체계를 가지고 발생자 및 처분자가 수행 할 처리 단계별 처분적합성 수행항목 흐름도를 그림 6과 같이 작도하였다. 이 흐름도는 처분검사항목을 처리위치 및 처리공정에 따라 나타내는 일종의 직렬 시퀀스로 이해할 수 있다. 그러나 세부 또는 하위 단계로 분석 및 분해하면 일부 병렬 시퀀스 접근이 나타날 수 있을 것이다.

### 3. 결론

방사성폐기물 스트림별 인수기준 확인 위치 및 방법을 검토하여 처분적합성 확인을 위한 프로세스 기반의 시나리오, 해당 요구사항 정의 및 구성, 처분적합성 인증 체계와 방사성폐기물 처분적합성 수행항목 흐름도를 제시하였다. 해외에서 운영하고 있는 인수기준과 적용 방법을 조사하였고, 이를 참고하여

국내에서 해체사업자가 국내 폐기물 인수기준을 고려하여 금속폐기물과 콘크리트 폐기물 관리 단계별 수행 방안을 도출하고 인수기준 확인을 위한 세부 공정별 요구사항 정의 기본방향을 제시하였다. 해체 폐기물의 상당한 부분을 차지하는 금속 폐기물과 콘크리트 폐기물에 대해 종류와 처리단계가 동일한 폐기물스트림을 구성하여 관리하는 것이 필요하다.

이를 위해서는 해체가 본격적으로 수행되기 전에 원자로 등 각 계통 및 구역 내의 방사능평가가 중요하고 유해폐기물의 사전제거 등이 중요하다. 분리 및 절단 작업은 재질 및 방사능 등을 고려하고 폐기물 수집도 그러하다. 폐기물 수집부터 폐기물 처분까지 처분시설 인수기준을 고려하여 각 단계별로 관리하여야 처분 시설 인수기준에 부적합한 폐기물 발생을 최소화 할 수 있다.

### 사사(Acknowledgment)

이 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[20193210100120, 원전해체발생 고형

처리위치	해체현장			해체방사성폐기물 종합처리시설			
처리공정	절단 → 방사선량률 측정 → 처리시설로 반출			세부절단 → 제염 → 고정화 → 포장 → 종합처리시설 내 임시저장 → 처분인도			
이행사항	방호조치	<input type="checkbox"/> 방사선량률 측정 <input type="checkbox"/> 연속공기오염감시	<input type="checkbox"/> 운반로 검사	<input type="checkbox"/> 공기오염도 감시	<input type="checkbox"/> 시료채취 <input type="checkbox"/> 방사선량률 측정	<input type="checkbox"/> 인수의뢰 신청 <input type="checkbox"/> 인도·인수	
	처분인증검사항목	발생자	• ① → A B C E • ③ → O	• ③ → M N	• ① → D • ③ → O P Q • ④ ⑤ • ② → F J K L	• 주기적 포장물 외관 검사	
		관리자	• ① → A B C E • ③ → O	• ③ → M N	• ① → D • ② → L • ③ → O P Q • ④ ⑤	• 폐기물 특성평가 결과 승인 • 예비검사 지원	
		인증관	• ① → A B C E		• 특성평가 인증	• ① → D • ② → L • ③ → O P Q • ④ ⑤	• 인수의뢰 신청 • 처분인도 적합성 재확인 • 예비검사 수검
		QA	• 용기 구매사양 검토 • 용기 제작 입회		• 제염 입회	• 포장물 확인 • 특성자료 검토	• 예비검사 입회
처분자			• 방사선적 특성 평가 방법 제시	• 척도인자 및 드립 핵종분석 교차 점검	• 예비검사 일정 통보 • 예비검사 및 인수		

[Figure 6] Flow Chart of Disposal Suitability Performance Items for Each Stage of Processing

화 처리 방폐물의 처분을 위한 인수기준 적용방안  
및 방폐물 인증프로그램(WCP) 요건(안) 개발]

시설의 해체계획서(9장 방사성폐기물 관리),  
한국수력원자력(주), 2020

### References

1. 산업통상자원부 고시 제2016-230호 “방사성폐기물 인수방법 등에 관한 규정”
2. 원전해체 발생 고형화 처리 방폐물의 처분을 위한 인수기준 적용방안 및 방폐물인증프로그램 요건(안) 개발, 한국원자력환경공단, 2020
3. 고리 원자력발전소 1호기 발전용원자로 및 관계

4. KRS/RR-11-01 “중·저준위방사성폐기물 인증프로그램(WCP) 개발지침 및 평가체계 개발, 한국원자력환경공단, 2011
5. 중·저준위방사성폐기물처분시설 SAR 8.3 폐기물 인수기준, 한국원자력환경공단
6. 금속해체 폐기물의 재활용을 위한 시스템엔지니어링 방법론 적용 및 피폭선량 평가, 서형우, 김창락, 한국방사성폐기물학회지(JNFCWT) Vol.15 No.1 pp.45-63, March 2017