

이 보고서는 코스닥 기업에 대한 투자정보 확충을 위해 발간한 보고서입니다.

혁신성장품목보고서

 YouTube 요약 영상 보러가기

방사성폐기물 처리

인간의 안전과 지속가능한 환경을 위한 필수 기술

요약

배경기술분석

심층기술분석

산업동향분석

주요기업분석



작성기관

한국기업데이터(주)

작성자

신지혜 선임전문위원

- 본 보고서는 「코스닥 시장 활성화를 통한 자본시장 혁신방안」의 일환으로 코스닥 기업에 대한 투자정보 확충을 위해, 한국거래소와 한국예탁결제원의 후원을 받아 한국IR협의회가 기술신용평가기관에 발주하여 작성한 것입니다.
- 본 보고서는 투자 의사결정을 위한 참고용으로만 제공되는 것이므로, 투자자 자신의 판단과 책임하에 종목선택이나 투자시기에 대한 최종 결정을 하시기 바랍니다. 따라서 본 보고서를 활용한 어떠한 의사결정에 대해서도 본회와 작성기관은 일체의 책임을 지지 않습니다.
- 본 보고서의 요약영상은 유튜브로도 시청 가능하며, 영상편집 일정에 따라 현재 시점에서 미게재 상태일 수 있습니다.
- 카카오톡에서 “한국IR협의회” 채널을 추가하시면 매주 보고서 발간 소식을 안내 받으실 수 있습니다.
- 본 보고서에 대한 자세한 문의는 작성기관(TEL.02-3215-2398)으로 연락하여 주시기 바랍니다.

방사성폐기물 처리

인간의 안전과 지속가능한 환경을 위한 필수 기술

그린 뉴딜 - 친환경·저탄소 기반으로 전환
<ul style="list-style-type: none"> □ 산업통상자원부장관 「방사성폐기물 관리 기본계획」 5년마다 수립(방사성폐기물관리법 제6조), 한국원자력환경공단 「방사성폐기물 관리 시행계획」 매년 수립 및 시행. □ 방사성폐기물 관리 기본원칙 : 안전성을 최우선으로 고려하고, 국민 신뢰 하에 투명한 절차와 방식으로 지역사회 조화와 발전에 기여하는 방향으로 추진.
환경·지속가능(D) - 환경보호(D16) - 방사성폐기물 처리(D16003)
<ul style="list-style-type: none"> □ 방사성폐기물 처리는 핵연료와 같은 방사능 물질이 사용되고 있는 원자력발전, 의료시설, 산업 현장에서 발생하는 다양한 방사성폐기물을 적절히 분리하여 안전하게 처리하는 것을 말함. □ 국내 방사성폐기물은 대부분 원자력발전소에서 발생되고 있으며, 사용 후 핵연료를 제외하고 모두 중·저준위 폐기물이고, 방사성폐기물 처리장 건설은 방사능 안전여부 관련한 불안이 높기 때문에 건설 입지에 주민들을 설득하는 일이 어려워 국내 고준위 폐기물 처리장은 관련 기술 개발뿐만 아니라 조속한 입지선정도 중요한 과제임. □ 주요 핵심기술은 기체(방사성 먼지 처리, 방사성 불활성 기체 처리, 방사성 요오드 제거, 삼중 수소 제거) / 액체(희석, 농축) / 고체(압축, 소각, 고화) 방사성폐기물 처리 기술, 사용 후 핵연료 처리 기술(습식, 건식, 심층 처리) 등이 있음.

■ 인간 환경에 대한 방사능의 영향을 최대한 저감시키는 기술

방사성폐기물의 처리목적은 환경에 대한 방사능의 영향을 가능한 한 저감시키는 것으로, 처리는 방사성 핵종이 소멸될 때까지 장기간 동안 방사성폐기물을 인간과 환경으로부터 격리시켜야 한다. 따라서 방사성폐기물의 처리는 방사성폐기물을 인간 환경으로부터 격리시키기에 편리한 형태로 바꾸는 작업이라고 할 수 있다.

처리기술의 기본은 분리와 농축이며, 분리되어 농도가 극히 희박하게 된 것은 희석 방출하고 농축된 것은 효율적인 보관관리를 위하여 감용·고화한다. 처리방법은 방사성폐기물의 방사능 준위나, 물리/화학적 상태 및 함유하고 있는 방사성 핵종에 따라 최적 방법이 선택된다.

■ 환경오염에 대한 중요성과 청정에너지에 대한 수요 증가로 지속성장 중인 산업

Research and Markets에 따르면, 세계 방사성폐기물 관리 시스템 시장규모는 2021년 기준 20,048.26백만 달러이며, 이후 연평균 3.4%의 성장률로 2028년에는 25,339.64백만 달러의 시장규모를 형성할 것으로 전망된다.

이처럼 세계 방사성폐기물 관리 시스템 시장은 청정에너지에 대한 수요 증가로 인해 전 세계적으로 원자력 발전소의 배치가 증가함에 따라 지속적으로 성장을 하고 있으며, 세계적으로 환경오염에 대한 중요성이 증가함에 따라 원자력 발전 및 방사성폐기물 처리에 대한 국제적 규제가 강화되고 있어서 방사성폐기물 처리 시장 또한 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

I. 배경기술분석

방사능 준위에 따른 방사성폐기물 처분방식 세분화 필요

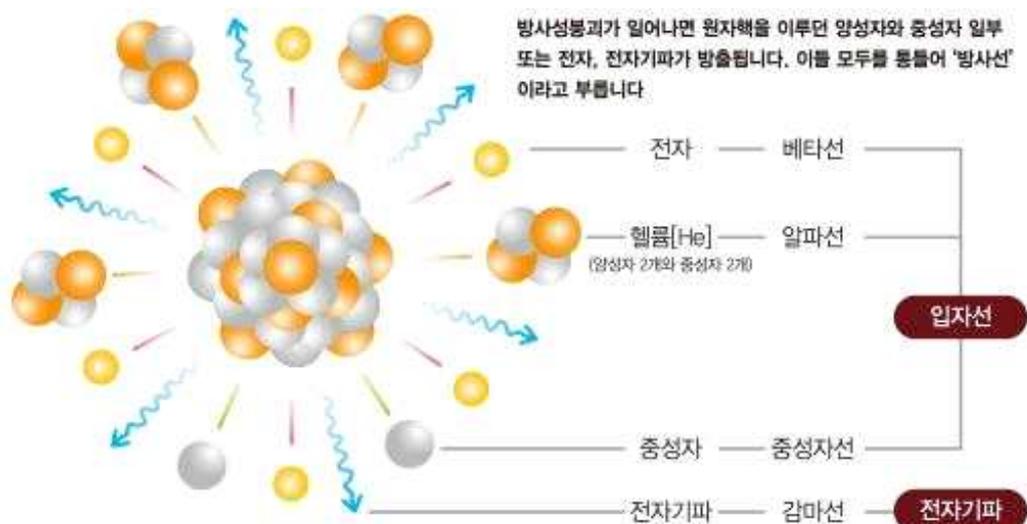
방사성폐기물은 방사성 핵종이 규정치 농도 이상 함유 또는 오염된 폐기물로서, 저준위폐기물은 일정기간 동안 분리해서 저장하면 되지만, 중준위폐기물은 얇은 곳에 묻어야 하며, 고준위폐기물은 깊은 곳에 매장하거나 핵변환을 시키는 등 다른 처리 과정이 필요하다.

■ 방사성물질과 방사선의 종류별 특징

방사성물질은 방사선을 방출하는 물질을 말한다. 방사성 동위원소가 대표적인 예인데 우라늄, 플루토늄, 방사성요오드 등이 있다. 방사성 동위원소는 모든 원소마다 여러 개가 존재하며 방출하는 방사선의 종류에 따라 알파선, 베타선, 감마선 방출 핵종으로 나눌 수 있다.

알파선을 방출하는 방사성 동위원소는 매우 드물며 담배에 극미량 포함되어 있다. 공기 중에 노출되었을 때에는 종이 한 장을 투과할 수 없으나 많은 양이 체내에 들어오면 주변세포를 죽일 수 있다. 또한, 베타선은 알루미늄 포일을 뚫을 수 없으나, 체내에 들어오면 주변 세포 수백 개를 죽일 수 있어 일반적으로 치료제로 사용되며, 감마선은 두꺼운 콘크리트 정도가 되어야 막을 수 있을 정도로 강한 투과력을 가지고 있어 체내에 들어오면 신체를 투과하므로 영상진단용으로 사용한다. 적용 용량에서는 대부분 투과하므로 인체에 영향을 주지 않으나, 양이 많으면 세포 및 조직에 손상을 일으키기도 한다.

[그림 1] 방사선의 종류



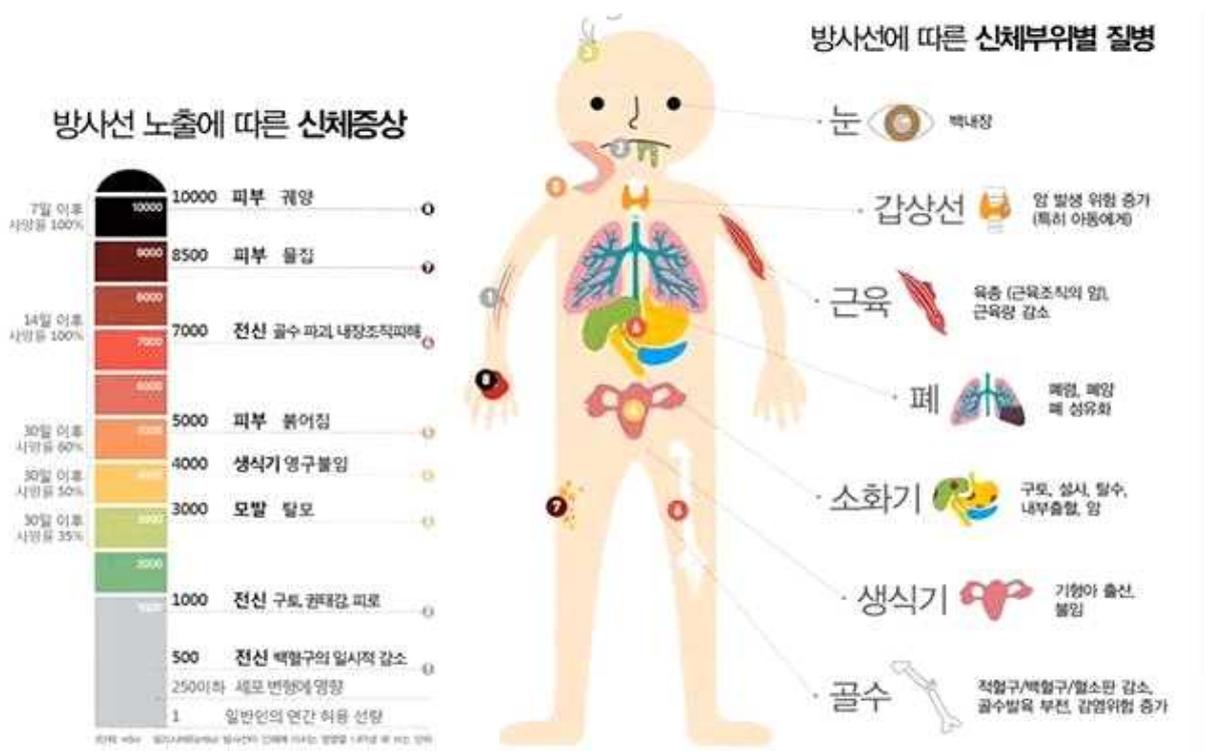
*출처 : 한국원자력연구원 첨단방사선연구소

■ 방사성물질이 인체에 미치는 영향

방사성물질은 기준치 이상이라도 저용량에서는 인체에 미치는 영향이 크게 없다. 연간 방사선 허용량 1mSv(밀리시버트)의 1,000배가 넘으면 구역, 구토가 있을 수 있으며, 이 정도의 용량의 흡입은 사고가 난 원자력발전소 내부에서나 가능하다.

한 예로 체르노빌 원자력발전소 폭발 사고를 들 수 있는데, 당시 근처에 있던 주민들은 이 폭발 사고로 대량의 방사선에 노출되면서 급성 방사선 증후군이 생겼다. 초기 증상은 식욕감퇴, 구역, 피로, 설사, 두통 등인데, 약 1주일 동안은 이런 정도의 증상만 나타나지만, 이후에 방사선 노출량 정도에 따라 차이가 있으나 뇌 등 중추신경계 장애, 위나 대장 등의 소화관 출혈, 골수 등 조혈기관의 기능 저하가 나타날 수 있다. 이런 증상이 나타나면 사망할 가능성이 높은 것으로 알려져 있으며, 만약 생존하게 된다면 6~8주에 걸쳐서 회복기에 들어갈 수 있지만, 그렇다고 안심할 수는 없다. 그 이유는 짧게는 10년에서 길게는 30년 뒤에 백혈병, 갑상선암, 유방암, 폐암, 피부암 등 각종 암이 생길 수 있기 때문이다.

[그림 2] 방사선이 인간에게 미치는 영향



*출처 : 방사능와치

■ 방사성폐기물의 정의

방사성폐기물(Radioactive Waste)이란 방사성 핵종이 규정치 농도(국제기구(IAEA 등)의 권고 사항을 기준으로 하여 각국의 규제 당국이 규정하는 방사성 핵종의 농도) 이상 함유되어 있거나 방사성 핵종에 오염된 폐기물로서, 일반적으로는 원자력발전소 및 관련시설 또는 방사성동위원소를 이용하는 병원, 연구기관, 산업체 등에서 발생한다.

방사성폐기물은 원자력안전법 제2조 제18호에서 방사성물질 또는 그에 따라 오염된 물질(이하 “방사성물질”)로서 폐기의 대상이 되는 물질(제35조 제4항에 따라 폐기하기로 결정한 사용 후 핵연료를 포함)을 말한다고 정의하고 있다.

또한, 원자력안전위원회고시 제2019-10호 「방사선방호 등에 관한 기준」 제3조에 고준위 방사성폐기물과 중·저준위 방사성폐기물의 구분 기준을 반감기 20년 이상인 알파선을 방출하는 핵종으로 방사능농도 4,000Bq/g 및 열 발생률 2kW/m²로 정하고 있다.

■ 방사성폐기물 등급 분류 및 처분방식

방사성폐기물은 원자력안전위원회고시 제2019-10호 「방사선방호 등에 관한 기준」 제3조 의 거, 열 발생률과 방사능농도에 따라 고준위폐기물과 중·저준위폐기물로 분류할 수 있다. 또한, 원자력안전위원회고시 제2020-6호 「방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정」 제3 조에 따라, 중·저준위폐기물은 중준위, 저준위, 극저준위 방사성폐기물로 분류되고 있다.

보통 산업에서 쓰이는 핵연료는 반감기가 몇 시간에서 몇 년까지이지만 원자력 발전에서 나오는 고준위폐기물은 반감기가 수십 년에서 수만 년이다. 거의 대부분의 방사성폐기물은 저준위폐기 물이며, 이는 질량이나 부피당 방사능이 적다는 뜻이다. 반감기가 짧은 저준위폐기물은 일정기간 동안 분리해서 저장하면 되지만 반감기가 상당히 긴 중준위폐기물은 얇은 곳에 묻어야 하며, 고 준위폐기물은 깊은 곳에 매장하거나 핵변환을 시키는 등 다른 처리 과정이 필요하다.

현재 우리나라는 방사능 준위에 맞는 수준의 안전관리를 위해 IAEA(International Atomic Energy Agency) 기준에 따라 처분방식을 세분화하고 방사성폐기물 분류와 처분방식을 연계하 여 관리하고 있다.

[표 1] 방사성폐기물 등급 분류 체계

구분	분류 기준	방사성폐기물 예시	처분 방식
고준위 폐기물	반감기 20년 이상의 알파선을 배출하는 핵종으로, 방사능 농도는 4,000Bq/g 이상이고, 열 발생률은 2kW/m ³ 이상	사용 후 핵연료	심층처분 가능 (500m 이상)
중준위 폐기물	저준위 폐기물 농도 기준 이상	핵연료 손상기간 중에 발생된 폐수지, 폐필터 등	심층, 천층(동굴) 처분 가능 (100m 이상)
저준위 폐기물	방사능 농도가 자체처분 허용 농도의 100배 이상이고 저준위 폐기물 농도 기준 미만	중준위에 해당하지 않는 잡고체, 폐수지, 폐필터 등	심층, 천층(동굴, 표층) 처분 가능
극저준위 폐기물	방사능농도가 자체처분 허용 농도 이상이고, 자체처분 허용 농도의 100배 미만	오염도가 낮은 잡고체, 해체 중에 발생된 오염도가 낮은 콘크리트 등	심층, 천층 처분 (동굴, 표층, 매립형) 가능

*출처 : 산업통상자원부

[그림 3] 방사성폐기물 분류에 따른 처분방식 도식화



*출처 : 한국원자력안전기술원

■ 방사성폐기물 발생원별 분류

▶▶ 발전시설(원자력발전소) 방사성폐기물

발전시설의 방사성폐기물은 원자로형, 계통설계개념, 운전 조건 및 발전용량 등 여러 가지 인자에 따라 폐기물의 특성 및 발생량이 달라지며, 기체/액체/고체 방사성폐기물로 나뉘볼 수 있다.

[표 2] 원자력 발전소의 상태별 분류

구분	발생장소
기체	원자로 냉각재의 탈기, 체적제어탱크의 배기, 봉산회수 계통 배수 탱크 배기, 복수기 공기 배출기, 격납용 퍼지, 보조건물 및 터빈 건물의 배기
액체	원자로 냉각재 계통, 가압기 릴리프 탱크, 안전주입탱크(Accumulator), 재장전수로 배수(Refueling Canal Drain), 기기배수 및 누설, 방사 화학 실험실 배수, 세탁 및 샤워배수, 제염구역 배수, 탈염기 재생폐액 및 수지교환 폐액, 바닥배수, 시료채취 계통
고체	액체 방사성폐기물 처리계통 농축폐액, 냉각재 정화 및 액체 폐기물 처리 시 발생하는페이온 교환수지, 액체 폐기물 여과처리 시 발생하는 페필터 카트리리지(Cartridge), 기체 폐기물 처리 시 발생하는 필터류(HEPA필터, 활성탄 필터 등), 발전소의 운전/유지보수 및 제염작업 시 발생하는 종이/피복/장갑/PVC/금속류 및 기기 등의 잡고체

*출처 : 한국원자력안전기술원, 한국기업데이터(주) 재구성

▶▶ 비 발전시설 방사성폐기물

비 발전시설 방사성폐기물은 원전연료가공시설 등 원자력발전소를 제외한 원자력이용시설에서 발생하는 방사성폐기물과 방사성 동위원소를 이용하는 시설 등에서 발생하는 방사성폐기물을 말한다. 핵연료주기시설 방사성폐기물은 주로 맥석, 정련폐액, 보수폐기물이며, 이러한 핵연료 제조 공정에서 발생하는 방사성폐기물의 방사능 준위는 극히 낮지만 우라늄을 함유하고 있다. 현재 국내 연료가공시설에서 발생하는 우라늄을 포함하는 폐기물은 중·저준위 폐기물로 분류할 수 있다. 또한, 방사성 동위원소 이용시설의 방사성폐기물은 연구기관, 의료기관, 산업체 등에서 방사성 동위원소를 사용하는 과정에서 발생하는 개봉 선원과 비파괴검사, 암 치료 등 다양한 분야에서 사용 후 폐기되는 견고한 용기에 봉입되어 있는 밀봉 선원이 있다.

[그림 4] 방사성폐기물의 발생원별 분류



*출처 : 한국아이닷컴

II. 심층기술분석

방사성폐기물 처리 장비, 요소 부품 개발 등을 중심으로 성장 중

방사성폐기물의 처리목적은 환경에 대한 방사능의 영향을 가능한 한 저감시키는 것으로, 처리 기술의 기본은 분리와 농축이며, 방사성폐기물의 방사능 준위나, 물리/화학적 상태 및 함유하고 있는 방사성 핵종의 종류에 따라 최적의 방법이 선택되고 있다.

■ 방사성폐기물 처리 개요

방사성폐기물의 처리목적은 환경에 대한 방사능의 영향을 가능한 한 저감시키는 것으로, 처리는 방사성 핵종이 소멸될 때까지 장기간 동안 방사성폐기물을 인간과 환경으로부터 격리시켜야 한다. 따라서 방사성폐기물의 처리는 방사성폐기물을 인간 환경으로부터 격리시키기에 편리한 형태로 바꾸는 작업이라고 할 수 있다.

처리기술의 기본은 분리와 농축이며, 분리되어 농도가 극히 희박하게 된 것은 희석 방출하고 농축된 것은 효율적인 보관관리를 위하여 감용·고화한다. 처리방법은 방사성폐기물의 방사능 준위나, 물리/화학적 상태 및 함유하고 있는 방사성 핵종의 종류에 따라 최적 방법이 선택된다.

[그림 5] 방사성폐기물 운반 및 처리 과정



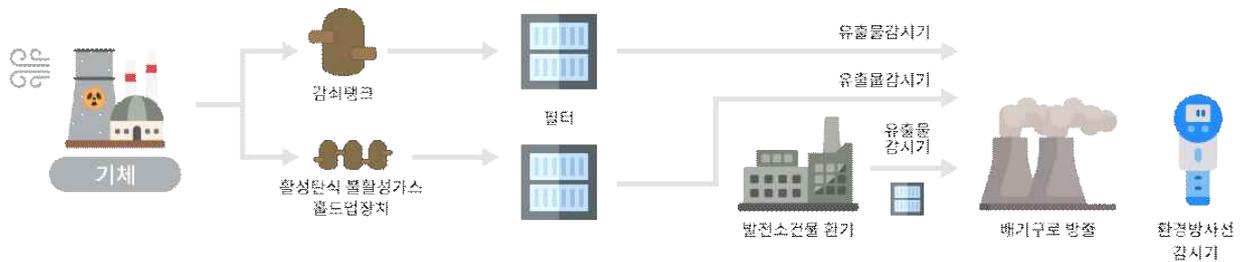
*출처 : 한국원자력환경공단

■ 기체 방사성폐기물 처리 기술

원자력발전소에서 발생하는 기체 방사성폐기물에는 다양한 방사성 핵종이 함유되어 있으나, 이들 핵종의 대부분은 반감기가 짧거나, 농도가 낮아 큰 문제가 되지 않고, 기체 방사성폐기물 처리 관점에서 중요한 방사성 핵종은 불활성기체, 방사성요오드 및 방사성 부유입자이다.

이 중 불활성기체는 원자력발전소에서 발생하는 기체 방사성폐기물의 총 방사능량의 90% 이상을 차지하고 있으며, 주로 Xe 및 Kr의 동위원소들로 구성되어 있다. 방사성요오드는 I-129에서 I-135에 이르는 여러 종류의 동위원소가 존재하는데, 기체 방사성폐기물 처리에서 중요한 방사성 동위원소는 I-131이며, 요오드 화합물은 주로 단체 요오드(I₂)와 유기요오드(주로 CH₃I)의 형태로 존재한다. 이 외에 기체 방사성폐기물 중에는 방사성 핵종에 오염된 부유입자들이 있으며, 전체 부유입자 수의 99.999%가 직경이 3 μ m 이하인 미세입자이다.

[그림 6] 원자력발전소의 기체 방사성폐기물 처리 절차



*출처 : 한국원자력안전기술원

▶▶ 방사성 먼지의 처리법

방사성 먼지의 제거는 예비적 제거와 고도제거의 두 가지로 분류할 수 있다. 일반적으로 방사성 먼지의 제거에 필터가 널리 사용되고 있는데, 이는 요구조건에 적합한 최적 부유입자 제거 장치를 선택하여 사용한다. 필터의 교환시기는 중성능 필터는 년 1회, 3~30 μ m의 입자를 대상으로 하는 일차필터는 3개월에 1회 정도 수행되어야 한다. 또한, 고성능 필터는 입자의 직경이 0.3 μ m에 대해서 99.97% 이상의 제거효율을 나타내고 있으며, 압력손실이 최소 사용 시의 2~3배가 되면 교체하는 것이 보편적이다.

▶▶ 방사성 불활성 기체의 처리법

원자력시설로부터 방출되는 주요 방사성 핵종 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 불활성 기체는 압축하여 일정기간(30일) 보관한 후 건물외부로 방출시키는 감쇠탱크에 일시보관 처리, 활성탄(흡착제)의 관내 및 층(Bed)에 기체를 유입하여 흡착·이탈하도록 하는 활성탄 흡착법, 공기의 액화분리기술을 응용한 액화증류법, 가스를 선택적으로 용해 흡수되는 것을 이용한 용매 흡수법, 선택투과성을 이용한 격막법, 열확산계수의 차를 이용한 열확산법 등이 있다.

▶▶ 방사성 요오드 제거법

방사성 요오드 중 문제가 되고 있는 것은 I-131, I-129이다. 핵분열기체 중 인체에 가장 큰 해를 미치는 것은 방사성 요오드이지만, 이것이 격납용기로부터 방출되는 것을 막기 위해 활성탄필터가 사용되며, 요오드와 은의 교환반응을 이용한 것으로 습도 등의 영향을 적게 받는 질산은법이 이용되고 있다.

▶▶ 삼중수소의 제거법

HT 또는 T2는 대기 중에서 산소와 반응하여 HTO의 상태로 존재하기 때문에 공기 중에 미량으로 존재하는 HTO 증기는 흡착에 의해 어느 정도 제거가 가능하며, 흡착제로는 실리카겔(Silica gel), 분자여과기(Molecular sieve), 활성알루미나(Alumina) 등이 사용된다.

■ 액체 방사성폐기물 처리 기술

액체 방사성폐기물은 원자로냉각재 및 관련 계통의 수질 정화 및 정비작업 등의 과정에서 주로 발생된다. 액체 방사성폐기물에는 물 계통, 유기용액 계통이 있고, 액체 상태에 따라 용액 상태, 현탁 상태, 슬러리 상태 등으로 구분한다. 폐액의 처리방법으로는 여러 가지 방법이 사용되고 있고 액체의 성질과 방사능농도 등에 따라서 단독처리 방법을 사용하거나 혹은 몇 가지 방법을 조합하여 사용하기도 한다.

일반적으로는 증발기, 탈염기, 여과기 등 처리계통에서 방사성물질이 제거되며, 처리된 액체 방사성폐기물의 방사능을 측정하여 결과 값이 제한치를 만족하는 경우, 액체유출물로서 소외로 배출이 가능하다.

액체 방사성폐기물 중 고체 함량이 많고 조성과 방사능 준위가 다양한 폐기물은 보통 증발기에 의해 처리한 후 증발기 응축액은 이온교환수지에 의해 다시 처리하며, 이온교환기는 증발기와 결합하지 않고 단독으로 사용될 수 있다. 특히 최근에는 증발기의 운전상에 여러 가지 문제가 제기되어 증발기 없이 여과와 이온교환만을 사용하는 처리공정이 제안되고 있다.

[그림 7] 원자력발전소의 액체 방사성폐기물 처리 절차



*출처 : 한국원자력안전기술원

▶▶ 희석법

희석법은 저준위의 방사성 폐액을 대량의 물로 희석한 후 방사능 농도가 법에 규정된 방출 제한치 이하가 되면 주변 환경에 방류하는 기술이다. 폐액의 방사능이 클수록 막대한 양의 물을 필요로 하게 되는데, 이러한 경우에는 화학형의 비상사상동위체(안정동위원소)로 희석하는 것도 효과적이며, 일반적으로 수도원, 수산물, 농산물에 직접 관계있는 수역에는 방류할 수 없다.

▶▶ 농축법

반감기가 길고 방사능 농도가 높아 희석법을 적용하기 힘든 방사성 폐액은 농축감용처리를 하며, 농축법에는 응집침전법, 이온교환처리법, 증발농축처리법이 있다.

응집침전법은 폐액 중에 적당한 응집체를 가하여 응결시켜 폐액 중에 함유되어 있는 방사성 물질의 하전을 중화시킴과 동시에 흡착 침전시켜 제거하는 방법으로 시설비와 운영경비가 저렴하며, 대량의 저준위 폐액처리에 적합하다. 또한, 슬러지양이 많이 발생하며 제염효과가 다른 방법에 비해 좋지 않다.

이온교환처리법은 용액 중에 용해되어 있는 물질을 제거하기 위해 이용되고 있는 이온교환체(천연 또는 합성무기이온, 합성유기이온)는 방사성폐액 중 방사성 핵종의 제거에도 사용되고 있으며, 저준위 방사성 핵종의 제거가 용이하다. 또한, 이온교환체의 성능이 다 되었을 때 재생사용이 가능하며, 용존 이온 또는 잡물이 많은 폐액처리에는 부적합하고, 이온교환체의 재생할 때 발

생하는 폐액은 증발법으로 다시 처리해야 한다.

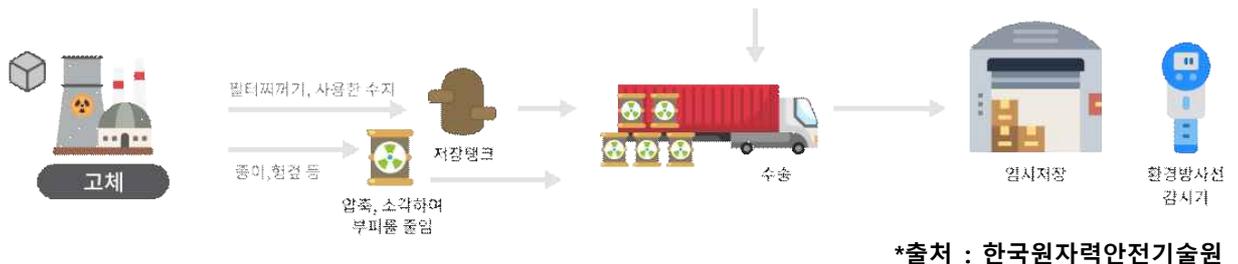
증발농축처리법은 폐액에 함유되어 있는 핵종이 일정하지 않은 경우에 폐액 중에 함유되어 있는 핵종이 비휘발성이라면 증발 농축 처리가 적용될 수 있다. 이 방법은 감용효과가 크고, 시설비와 운전경비가 비싸며, I-131과 같은 승화성물질이 함유된 경우에는 제염효율이 떨어진다.

■ 고체 방사성폐기물 처리 기술

고체 방사성폐기물은 폐이온교환수지, 폐필터 카트리지, 증발기 농축물 및 원자로 운전과정에서 발생하는 종이, 피복, PVC, 기타 오염된 기기 등의 건조 고체 폐기물을 포함하나, 이 중 폐이온 교환수지, 폐필터 카트리지, 증발기 농축물은 습윤 상태인 고체로서 그 상태로는 저장하거나 수송하기 곤란하고 또 처분할 수도 없다. 따라서 이러한 습윤 고체 방사성폐기물은 고화 처리를 하여 안정한 고체 상태로 전환시켜야 한다.

실제로 고체 방사성폐기물처리에서 고려되는 것은 잡고체 폐기물이 대부분인데, 잡고체 폐기물은 종류가 매우 다양하며, 이들의 분류방법도 여러 종류가 있으나, 주로 가연성, 압축성, 비압축성 등으로 분류한다. 또한, 폐기물의 각 성분의 조성비는 원자로형태, 운전기간, 제염 및 보수여부 등 여러 인자에 따라 달라진다. 이와 같은 건조 고체 폐기물(잡고체)의 감용처리법은 압축하여 포장하는 방법과 가연성 물질을 소각하는 방법 등이 있다.

[그림 8] 원자력발전소의 고체 방사성폐기물 처리 절차



▶▶ 압축처리법

고체 방사성폐기물에 기계적 힘을 가해 폐기물의 조직 구조를 변화시켜 전체 부피를 감소시키는 방법으로, 현재 원자력 발전소에서 고체 방사성폐기물 처리법으로 가장 널리 이용되고 있으며, 소각이나 기타 처리가 적합하지 않은 경우에 효과적이다.

적용압력이 100톤 미만인 경우 저압압축, 그 이상일 때는 고압압축이라고 하며, 압축처리법에 의한 감용 효과를 높이기 위해서는 폐기물 사이의 공간을 완전히 제거하는 것이 이상적이지만, 기술 및 경제성 문제로 어려움이 있다.

압축처리법은 공정이 간단하고 기술적인 문제가 적은 장점이 있지만, 압축과정 중 폐기물에 함유된 공기가 분출되어 주위의 대기를 오염시킬 위험이 있다.

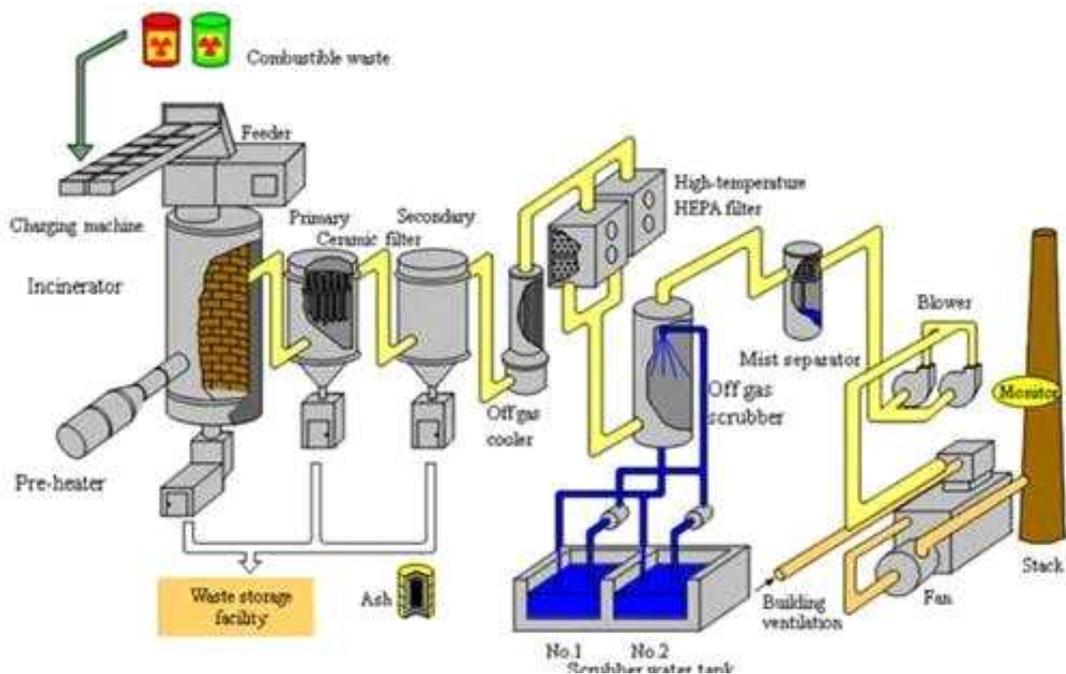
▶▶ 소각처리법

방사성폐기물 소각처리는 압축처리법 대상 고체 방사성폐기물 부피를 줄일 수 있는 감용효과 이외에도 폐기물을 불활성 혹은 반응성이 작은 형태로 전환시켜 이후의 수송 및 저장 시 발생할 수 있는 문제점을 감소시켜주는 장점이 있다.

방사성폐기물의 소각처리 중 가장 중요한 것은 방사능 누출 방지를 위한 폐기물의 완전연소이며, 이를 위해서는 폐기물의 소각로 내 체류시간과 연소온도가 적절해야하고, 난류연소 및 충분한 산소공급이 보장되어야 한다.

방사성폐기물 소각처리는 1)폐기물 반입, 2)공정 내 폐기물 투입, 3)폐기물 열처리, 4)에너지 회수 및 변환, 5)배기가스 세정, 6)잔류물 관리, 7)비산회/바닥재 관리 및 고형 잔류물 처분으로 구성되며, 폐기물 소각의 핵심공정은 건조·가스 제거, 열분해 및 산화이다.

[그림 9] 일본 JAEA 社の 방사성폐기물 소각공정



*출처 : JAEA

▶▶ 고화처리법

고화처리는 방사성폐기물을 안정화시키는 방법 중 한가지로 안정한 고체 상태로 전환시켜 처리하는 방법을 말한다. 고화법의 종류로는 고화매체에 따라 시멘트 고화, 아스팔트 고화, 유리 고화 등이 있다. 고화과정을 거친 폐기물은 최종처분장으로 인수되는데, 이때 처분장의 인수조건에 정하는 기준인 유리수, 침출수 특성, 기계적 강도, 방사선 영향, 열적 성질 등을 충분히 만족시킬 수 있도록 고화처리 하여야 한다. 최근에는 이온교환처리에서 발생하는 폐이온교환수지를 완전히 건조하여 고건전성용기(High Integrity Container)에 포장하는 방법이 사용되기도 한다.

■ 사용 후 핵연료 처리 기술

사용 후 핵연료는 원자로 속에서 핵분열 시 발생하는 열을 이용하여 전력을 생산하는 핵연료를 약 3주기(4~5년) 기간 동안 원자로 내에서 연소시키면 더 이상 충분한 열이 생성되지 않기 때문에 새로운 핵연료로 교체하게 되는데, 이때 인출된 핵연료를 말한다. 사용 후 핵연료에는 원전 연료로 다시 사용할 수 있는 핵분열성 물질(U-235와 PU-239)과 핵반응 과정에서 만들어진 핵분열 생성물들이 포함되어 있다. 사용 후 핵연료는 대표적인 고준위 방사성폐기물로, 처리방법에는 습식처리, 건식처리, 심층처리가 있다.

▶▶ 습식처리법

대표적인 습식처리방법으로 PUREX법이 있는데 이 방법은 사용한 핵 연료봉을 절단한 뒤 질산 용액에 넣어 핵연료만 용해시킨 후, 피복 관을 제거하고 TBP(Tributyl Phosphate)의 유기용매와 혼합시켜 우라늄과 플루토늄을 용매 측으로 이동하게 하여 남아있는 핵분열생성물질과 분리되는 원리를 이용하는 것이다. 여기서 플루토늄의 원자가를 바꾸면 용매와의 친화성이 감소하여 우라늄과 플루토늄을 분리할 수 있고, 최종적으로 분리된 핵분열생성물질은 안정화를 위해 유리체로 고화시킬 수 있다.

▶▶ 건식처리법

건식방법으로는 Pyro-processing 방법이 있으며, 이 기술은 고속로에서 고독성 핵물질 및 장반감기 핵물질을 함께 태워 고독성 핵물질은 소멸시키고 장반감기 핵종은 단 반감기 핵종으로 변환시켜 고준위 폐기물의 관리기간을 단축시키는 기술이다.

[그림 10] Pyro-processing 기술의 개요도

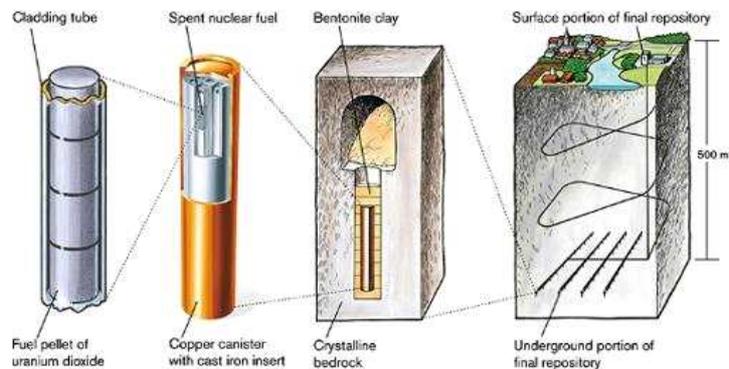


*출처 : 한국원자력연구원

▶▶ 심층처리법

심층방식의 기본개념은 지하 500~1,000m의 암반에 처분시설을 만들어 고준위 방사성폐기물을 처분하는 방식이다. 현재 미국, 프랑스 등 원자력 선진국 중심으로 지하 시험시설을 만들어 기술 개발 연구를 수행하고 있으며, 스웨덴은 지하 약 500m의 결정질 암반에 처분장을 건설하여 구리와 주철의 이중용기 내에 사용 후 핵연료를 넣고 밀봉, 포장하여 처분하는 기술을 개발하였다.

[그림 11] 스웨덴의 사용 후 핵연료 심층처분 개념도



*출처 : 한국원자력환경공단

Ⅲ. 산업동향분석

청정에너지에 대한 수요 증가로 지속 성장 중

세계 방사성폐기물 처리 관련 시장은 연평균 3.4%로 성장세를 유지하고 있으며, 환경오염에 대한 중요성과 청정에너지에 대한 수요 증가로 인해 전 세계적으로 원자력 발전소의 배치가 증가함에 따라 지속적으로 성장을 하고 있다.

■ 방사성폐기물 처리 산업 국내외 현황

전 세계적으로 많은 국가들이 방사성폐기물을 처리 및 관리하기 위한 시설을 가지고 있으며, 수십 년 동안 안전하게 운영해 오므로써 이미 안정성이 입증되고 있다. 그 중 프랑스는 1969년부터 셸브르 인근에 있는 라망쉬(La Manch) 방사성폐기물 시설을 25년간 성공적으로 운영한 뒤, 1994년에 용량 포화로 운영을 종료하고, 로브(L' Aube)에 두 번째 방사성폐기물 관리시설을 건설하여 1992년부터 운영하고 있다.

프랑스는 방사성폐기물을 1차적으로 핵종의 반감기에 따라 단수명과 장수명을 분류하고 있으며, 2차적으로 방사능 세기(방사능의 방출량)에 따라 극저준위, 저준위, 중준위, 고준위로 분류하고 있다. 이러한 분류기준에 따라 처분방식을 달리하고 있는데, 극저준위 폐기물은 매립처분, 중저준위 폐기물은 천층 처분하며, 사용 후 핵연료는 원전연료로 재활용하기 위해 재처리를 하고 있다. 재처리 과정에서 발생하는 고준위폐기물은 유리 고화하여 라아그(La Hague) 재처리시설 부지에 보관 후 고준위폐기물 처분시설이 확보되면 그 곳으로 옮겨 처분할 예정이며, 이와 더불어 장수명 고준위 핵종을 단수명 핵종으로 변환하는 소멸처리 연구도 수행하고 있다.

[그림 12] 프랑스의 중·저준위 방사성폐기물 처분장



로브 중·저준위폐기물 처분장 전경



로브 처분시설 내부

*출처 : 한국원자력환경공단

영국은 1956년 세계 최초로 상업용 원자력발전소를 가동한 국가답게 1959년부터 세계 최초의 저준위 방사성폐기물 처분시설인, 드릭(Drigg) 방사성폐기물 관리시설을 운영하고 있다. 드릭 방사성폐기물 시설은 단순 처분방식으로 운영하다가 안전성을 보강하여 콘크리트 구조물을 이용한 공학적 천층 처분방식으로 변경하여 운영하고 있으며, 주변 지역 지원을 위한 국가 차원의 제도는 없으나, 교량 건설, 전기 및 수도시설, 철도시설 확충 등 시설 운영에 필요한 사회기반시설 건설에 투자하거나 고용기회를 증진하는 등의 방법으로 지역발전에도 기여하고 있다.

[그림 13] 영국의 방사성폐기물 시설



드릭 저준위 방폐장(뒤에 보이는 것은 셀라필드 단지)

드릭 저준위 방폐장(처분용량 확장을 위한 건설장면)

*출처 : 한국원자력환경공단

스웨덴은 환경을 중시하는 나라로 4개의 전력회사가 공동 출자하여 1972년에 설립한 방사성폐기물 회사(SKB)가 방사성폐기물 관리를 담당하고 있으며, 중·저준위 폐기물은 1988년부터 영구처분하고 있고, 사용 후 핵연료는 중간저장시설인 클랩(CLAB)에서 중간 저장 후 2023년부터 영구처분장을 운영할 계획에 있다.

또한, 수도인 스톡홀름에서 약 160Km 떨어진 발트해안의 포스마크(Forsmark) 지역에 중·저준위 폐기물 영구처분장인 SFR을 운영하고 있으며, 이 시설은 바다 밑 60m 깊이에 동굴을 뚫어 건설한 세계 유일의 해저 동굴처분 시설이다.

[그림 14] 스웨덴의 방사성폐기물 관리 시설



포스마크 원자력시설과 주변마을

사용후핵연료 중간저장시설

*출처 : 한국원자력환경공단

스페인인 1971년부터 원자력발전을 시작하여 꾸준히 원자력산업을 발전시켜왔지만, 2004년 이후 원자력발전의 단계적 폐지를 공약한 사회노동당이 집권함에 따라 원전산업이 더 이상 확대되지 못하고 있다. 하지만 전력소비 증가율이 연 6%가 넘는 등 높은 에너지 소비 형태를 극복하기 위해서 새로운 에너지원 확보가 시급한 실정이고, 현재 스페인은 7,448MWe 규모의 원전 8기를 운영하며 전체 전력의 약 18%를 공급하고 있다.

또한, 스페인은 ENRESA(Empresa Nacional de Residuos Radiactivos)를 비영리 독립기관으로 설립하여 방사성폐기물관리 전담기관으로 운영하고 있으며, 중·저준위 방사성폐기물은 원전 운영자가 ENRESA로 인도하여 엘 카브릴 처분장에서 처분한다. 사용 후 핵연료 관리정책은 1983년까지 프랑스와 영국에 위탁하여 재처리를 추진했으나, 그 이후 직접처분(Direct

disposal)으로 변경되었다. 현재 각 원전에서 자체 관리되고 있으나, 「국가 방사성폐기물관리 종합계획」에 따라 최종관리방안은 추후 결정하기로 하고, 중앙집중방식의 중간저장시설을 Villar de Canas에 건설하여 이전할 계획에 있다.

[그림 15] 스페인의 중·저준위 방사성폐기물 관리 시설



엘 카브릴 처분장(처분 셀 전경)



중저준위폐기물 콘크리트 처분용기

*출처 : 한국원자력환경공단

일본은 세계에서 원폭 피해국이면서 원자력 기술 확보에 남다른 노력을 기울이고 있는 나라로, 50기의 원자력발전소를 운영 중에 있으며, 현재 아오모리현에 중·저준위 방사성폐기물 처분시설과 우라늄농축시설 운영, 사용 후 핵연료 재처리시설을 본격 가동할 계획을 가지고 있다.

방사성폐기물 관리에 대해 발생자의 관리책임 원칙, 재활용 등을 통한 발생량의 최소화, 폐기물의 특성에 따른 합리적 처리 및 처분, 국민의 이해와 신뢰 하에 사업 추진의 4원칙을 정하고, 방사성폐기물을 지층처분 및 관리처분 대상으로 분류하여 각각 기본방침을 제시하고 있다.

미국은 80년대 이후 신규원전을 건설하지는 않았지만, 현재 세계 최대 규모인 104기의 원전을 운영하고 있으며, 사용 후 핵연료의 새로운 관리대안을 모색하기 위하여 블루리본위원회(Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future)를 설립하여 사용 후 핵연료 및 고준위 폐기물에 대한 관리 및 처분 전략을 수립하고 있다. 또한, 저준위 방사성폐기물의 경우 에너지솔루션, US에콜로지 등의 기업이 방사성폐기물 처분장을 직접 운영하고 있다.

[그림 16] 미국의 저준위 방사성폐기물 처분장



반델 처분장



리치랜드 처분장

*출처 : 한국원자력환경공단

핀란드는 현재 올킬루오토(Olkiluoto) 및 로비사(Loviisa) 원전 부지 내 지하에 건설된 2개의 처분 시설이 각각 1992년 및 1998년부터 운영되고 있다. 1996년에는 사용 후 핵연료의 영구 처분사업을 위해 POSIVA(핀란드의 Fortum Power and Heat Oy 및 Teollisuuden Voima 원자력발전회사가 공동 소유하고 있는 폐기물 전문 관리회사)가 출범하였으며, 1999년과 2001년 올킬루오토를 중앙정부와 의회로부터 사용 후 핵연료의 영구처분장부지로 승인을 받았다.

국내에서는 방사성폐기물의 안전하고 효율적인 관리를 위해 산업통상자원부장관은 「방사성폐기물 관리 기본계획」을 5년마다 수립하고(방사성폐기물관리법 제6조), 방사성폐기물 관리사업자인 한국원자력환경공단은 「방사성폐기물 관리 시행계획」을 매년 수립 및 시행하고 있다.(방사성폐기물관리법 제7조)

방사성폐기물 관리의 기본원칙은 안전성을 최우선으로 고려하고, 국민 신뢰 하에 투명한 절차와 방식으로 지역사회 조화와 발전에 기여하는 방향으로 추진하는 것이다. 즉 방사성폐기물은 장기간 걸친 안전한 관리가 필요하므로 국가의 책임 하에 관리해야 하며, 생태적·환경적으로 안전하게 관리하여 국민건강과 환경에 대한 위해를 방지하고 국내법 및 국제법을 준수하도록 되어 있다. 이를 위해 정부는 2014년 12월, 경북 경주시에 총 사업비 1조 5천억 원을 들여서 10만 드럼(200L 기준)을 보관할 수 있는 방사성폐기물처리장을 건설하였으며, 2021년 12월 완공을 목표로 12.5만 드럼을 추가로 처분할 수 있는 2단계 공사가 진행 중에 있다.

[그림 17] 경주 중·저준위 방사성폐기물 처분시설 조감도



*출처 : 한국원자력안전기술원

또한, 한국원자력환경공단에서는 포스트 코로나 시대를 맞아 디지털 기반의 비대면·스마트 혁명에 대응하기 위해 디지털 혁신기술 기반 스마트 방사성폐기물 처분 시설 구축을 위한 「I-KORAD 4.0」을 추진하고 있다.

I-KORAD 4.0 추진전략은 중·저준위 방사성폐기물 업무의 디지털전환 촉진, 융복합 기술로 그린 처분장 구현, 안전을 생각하는 디지털·스마트화 등의 3대 전략 방향과 AI(Artificial Intelligence)기술 활용 방사성폐기물 검사시스템 구축 등 총 23개 실행과제를 담고 있다.

한국원자력환경공단은 I-KORAD 4.0 추진전략에 따라 2020년 △방사성폐기물 운반 스마트 안전장비 도입, △IoT(Internet of Things) 기반 스마트 지하수 감시시스템, 화재감시 모니터링

시스템 구축, △드론활용 시설물 모니터링 시스템 구축, △증강현실(AR) 활용 작업자 안전교육 시스템 구축 등의 과제를 추진하여 근로자 작업환경 개선과 방사성폐기물 처리장 운영 중 비상 상황 발생 시 신속한 사고대응이 가능해졌다.

[그림 18] 디지털 혁신기술 기반의 스마트 방사성폐기물 처분시설(하역동굴)



*출처 : 한국원자력환경공단

■ 방사성폐기물 처리 산업 국내외 시장 동향

Research and Markets의 「Nuclear Waste Management System Market Forecast to 2028 - COVID-19 Impact and Global Analysis by Waste Type, Reactor Type, and Disposal Options (2021)」에 따르면, 세계 방사성폐기물 관리 시스템 시장규모는 2021년 기준 20,048.26백만 달러이며, 이후 연평균 3.4%의 성장률로 2028년에는 25,339.64백만 달러의 시장규모를 형성할 것으로 전망된다.

전 세계 방사성폐기물 관리 시스템 시장은 폐기물 유형, 원자로 유형, 처리 방법 및 지역을 기준으로 분류되며, 폐기물 유형에 따라 시장은 저준위 폐기물, 고준위 폐기물, 중급 폐기물 등으로 분류된다. 저준위 폐기물 부문은 폐기물 유형별 방사성폐기물 관리 시스템 시장을 주도하고 있으며, 원자로 유형에 따라서는 가압경수로, 비등경수로, 가스냉각로 등으로 구분되는데, 이 중 비등경수로 부문이 시장을 주도하고 있다.

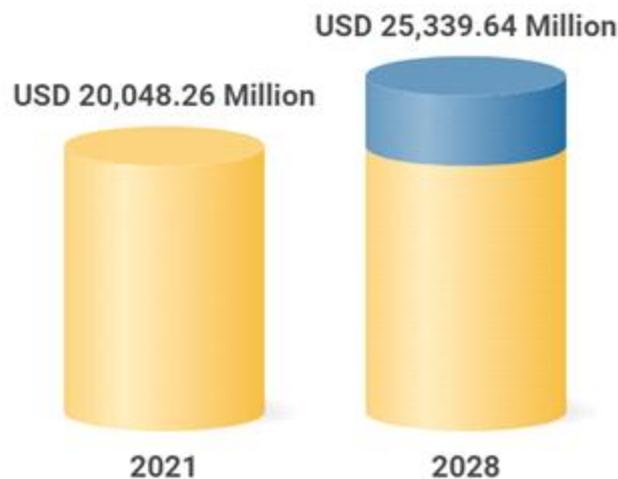
지리적으로는 크게 유럽, 아시아-태평양(APAC), 중동 및 아프리카(MEA), 북미, 남미의 5개 주요 지역으로 분류되며, 아시아-태평양 시장이 2020년에는 가장 큰 시장 점유율을 차지했으며, 유럽과 북미가 그 뒤를 이었다.

아시아-태평양 지역에는 135개 이상의 가동 중인 발전용 원자로와 건설 중인 약 30~35개의 발전용 원자로가 있으며, 이들 지역에 속한 나라들은 전체에 5-60개의 원자로를 추가로 개발할 확고한 계획을 가지고 있다. 그 결과 원자력 발전소의 배치가 증가하고 있으며, 결과적으로 방사성폐기물 관리 시스템에 대한 수요 증가를 발생시키고 있다.

유럽은 2020년에 두 번째로 큰 시장 점유율을 차지했으며, 특히, 유럽에 속한 나라들은 대부분 기존 에너지의 약 25%를 원자력에서 생산하고 있기 때문에 원자력에 크게 의존하고 있는 국가들이다. 또한, 유럽의 특정 국가에서 발전용 원자로의 폐로가 증가함에 따라 방사성폐기물 관리 시스템 시장의 성장이 가속화되고 있다.

이처럼 세계 방사성폐기물 관리 시스템 시장은 청정에너지에 대한 수요 증가로 인해 전 세계적으로 원자력 발전소의 배치가 증가함에 따라 지속적으로 성장을 하고 있으며, 세계적으로 환경 오염에 대한 중요성이 증가함에 따라 원자력 발전 및 방사성폐기물 처리에 대한 국제적 규제가 강화되고 있어서 방사성폐기물 처리 시장 또한 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

[그림 19] 세계 방사성폐기물 관리 시스템 시장 규모 및 전망 (단위 : 백만 달러)



*출처 : Research and Markets, Nuclear Waste Management System Marke Forecast to 2028(2021)

국내 시장은 아직 크게 활성화되어 있지 않아, 정부가 주도하여 시장을 이끌고 있는데, 특히, 정부는 신규 사업으로 사용 후 핵연료 관련 기술 개발과 저장·처분 안전성 확보에 초점을 맞추고, 국내에 적합한 처분요건 맞춤형 관리 시설 개념 설계 기술 개발에 주력하고 있는 추세이다.

정부가 방사성폐기물 관리 기금 예산으로 측정한 것을 부문별로 살펴보면, 중·저준위 방사성폐기물 관리 부문은 2020년 831억 1,500만 원에서 68억 9,400만 원(8.3%) 감소했으며, 특히, 월성원자력환경관리센터건설 사업의 예산안은 2020년과 비슷한 수준인 410억 9,800만 원인 반면, 처분시설운영 예산은 2020년 353억 4,500만 원에서 90억 700만 원(25.5%) 감소한 263억 3,800만 원이다. 또한, 사용 후 핵연료 관리 부문(사용 후 핵연료 관리 기반 조성) 예산도 역시 대폭 감소하였는데, 2020년 66억 8,200억 원에서 24억 5,900억 원으로 63.2% 감소하였으며, 방사성폐기물 정책지원 및 홍보 부문도 7.3% 감소해 2020년 26억 4,900만 원에서 24억 5,500만 원으로 감소하였다.

그러나 방사성폐기물 관리 기술 개발 부문은 2020년 204억 6,200만 원에서 267억 7,700만 원으로 30.9% 증가하였다. 기존에 추진사업인 방폐물관리기술개발(R&D), 원전해체 방폐물 안전관리 기술개발(R&D) 등은 각각 20.1%, 31.9% 감소된 42억 6,600만 원, 103억 600만 원으로 정해졌으나, 신규 사업인 사용 후 핵연료 관리 시설 설계 기술개발(R&D)에 15억 6,500만 원, 사용 후 핵연료 저장·처분 안전성 확보를 위한 핵심기술개발(R&D)에 106억 4,000만 원이 쓰일 예정이다.

IV. 주요기업분석

방사성폐기물 처리 효율성 향상을 중심으로 발전 중

방사성폐기물 발생량은 방사성폐기물 처분장의 저장용량에 근접하거나 넘어서고 있어, 시간이 경과할수록 이들의 장기간 보관 및 격리가 어려워질 것으로 판단됨에 따라 이를 해결하기 위한 기술 개발이 국내 기업들에서 추진되고 있다.

■ 글로벌 기업 동향

MarketWatch에 따르면, 글로벌 방사성폐기물 처리 산업의 주요 참여업체에는 Orano, EnergySolutions, Veolia Environment Services, Bechtel Corp., Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company(SKB) 등이 있다.

[표 3] 해외 업체 현황

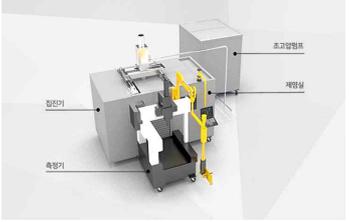
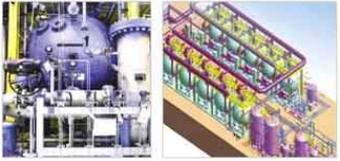
업체명	사업화 현황	
Orano (프랑스)	<ul style="list-style-type: none"> 2001년 3월 설립 방사성폐기물 관리 및 원전 해체분야 선두주자 주요사업 : 우라늄농축, 사용 후 핵연료 재처리, 원자로해체 가압경수형, 비등수형 원자로의 1/4 해체 포함, 전 세계 160개 이상의 제염 해체 프로젝트 참여 Maine Yankee(미국), Millstone 1호기(미국), Stade(독일), Rancho Seco(미국), Svafo(스웨덴) 등 프로젝트 완료 	
Energy Solutions (미국)	<ul style="list-style-type: none"> 미국 내 상업용 저준위 핵폐기물 저장소 2개 소유 1971년부터 유타주 클리브에 방사성폐기물 처리장 운영 전국의 Class A LLW 수용 처분용량 약 88만 m³, 공학적방벽 표층처분 형태로 건설 폐기물을 내구성 유리화 같은 대체 재료 전환 기술 보유 	
Veolia Environment Services (프랑스)	<ul style="list-style-type: none"> 주요사업 : 방사성폐기물의 관리 및 처리, 재활용 및 재사용, 고체/액체/유해/비유해 폐기물 관리 등 71개의 물리화학적 유해폐기물 처리시설 보유 	
Bechtel Corp. (미국)	<ul style="list-style-type: none"> 2016년 워싱턴에 있는 에너지부의 Hanford 핵폐기물 부지 지하에 액체 방사성 폐기물 처리 시설 건설 2017년 300톤에 달하는 2개의 핵폐기물 용해기 조립 완료 2018년 테네시의 Y-12 국가 안보 단지, 우라늄 처리 시설 건설, 핵탄두 수리하고 노후화된 냉전시설 교체하기 위한 National Nuclear Security Administration 프로그램 참여 	
Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (스웨덴)	<ul style="list-style-type: none"> 주요사업 : 핵폐기물 및 사용 후 핵연료의 관리 및 처분 방사성폐기물 처리를 위한 부지 조사, 부지 선정, 대안 실행 및 지역지원제도 관련 협상 수행 	

*출처 : 각사 홈페이지, 한국기업데이터(주) 재구성

■ 국내 기업 동향

국내 방사성폐기물 발생량은 방사성폐기물 처분장의 저장용량에 근접하거나 넘어서고 있어, 시간이 경과할수록 이들의 장기간 보관 및 격리가 어려워질 것으로 판단됨에 따라 이를 해결하기 위한 기술개발들이 국내 기업들에서 추진되고 있으며, 주요 참여 업체로는 선광티엔에스, 에코비트엔지니어링, 오르비텍, 세안기술, 하나원자력기술 등이 있다.

[표 4] 국내 업체 현황

업체명	사업화 현황	
선광티엔에스	<ul style="list-style-type: none"> • 1999년 6월 설립 • 주요사업 : 방사선관리, 원자력관계시설 해체, 방사성폐기물 처분, 방사성물질 운반, 안전관리대행, 방사능 분석 등 • 한국수력원자력 한울1,3발전소 금속방사성폐기물 자체처분 • 한국원자력환경공단 RI 폐기물 자체처분 등 수행 • 초고압 Water-Jet 제염장치 개발 	
에코비트 엔지니어링	<ul style="list-style-type: none"> • 1959년 2월 설립 • 주요사업 : 제조 용수처리, 폐수처리, 플랜트 설비 수출 등 • 영광원자력발전소 3-6호기 및 울진원자력발전소 3-6호수처리 설비, 복수탈염설비, 염수주입설비, 약품주입설비로 구성된 용수처리설비 공급 • 신월성원자력발전소 1,2호기, 신고리원자력발전소 1-6호기, 신한울원자력발전소 1,2호기 용수처리설비 공급 	
오르비텍	<ul style="list-style-type: none"> • 1991년 3월 설립, 2010년 6월 코스닥상장 • 방사선방호, 방사선 관리구역 제염, 방사성폐기물 관리, 방사성동위원소 및 방사성폐기물의 제거/수거/처리/운반 • 월성원자력발전소, 울진원자력발전소, 영광원자력발전소, 한울원자력발전소 등 방사선 관리 용역 진행 	
세안기술	<ul style="list-style-type: none"> • 1997년 2월 설립 • 주요사업 : 초음파 검사, 와전류검사, 발전소 설비검사 등 • 원전 증기발생기 2차측 Tube-Sheet 상부에 침적된 슬러지 제거 및 이물질 검사를 통해 Tube의 건전성 확보, 원자력 발전소의 열효율 증대와 안전성 확보에 기여 • 증기발생기 TSP 및 Tube-Sheet에 침적된 슬러지 제거 시 발생된 화학세정 폐액에 함유되어 있는 EDTA 성분 제거, 방사성폐기물 처리 및 저/고농도 폐액처리 업무 수행 	
하나 원자력기술	<ul style="list-style-type: none"> • 1996년 6월 설립 • 주요사업 : 원자력발전소에서 방사선 관리와 방사성폐기물 처리, 환경방사능분석 등의 업무 수행 • 드럼압축처리, 폐수지처리, 작업용품세탁, 관리구역 제염, 방사성오염제거, 방사성폐기물 수거/처리/운반 등 	

*출처 : 각사 홈페이지, 한국기업데이터(주) 재구성

■ 국내 코스닥 기업 현황

[오르비텍] 오르비텍은 1991년에 설립된 기업으로, 사업 분야는 크게 원자력 사업, ISI (In-Service Inspection) 사업, 항공 사업으로 구성되어 있으며, 특히 원자력 사업에서는 원자력 발전소의 방사선 관리, 방사성폐기물 규제해제, 방사선 계측사업 및 관련제품 생산/판매 등의 사업을 수행하고 있다.

오르비텍은 원자력시설의 규제해제, 즉 원자력발전 및 관련 산업에서 나오는 방사성오염시설 및 물질을 제염해체하고, 원자력관계법령에서 정하는 기준에 따라 방사선 관리 및 평가를 수행하고 있으며, 이를 통해 각종 방사성폐기물을 자체처분의 방법으로 처리하여 최종적으로는 이러한 발생 폐기물들을 최소화시키는 업무를 수행하고 있다.

[표 5] 오르비텍 주가추이 및 기본 재무현황

(단위 : 원, 억 원, %)

구분	2018년	2019년	2020년
매출액	692	749	534
영업이익	42	41	-72
당기순이익	34	10	-211
부채비율(%)	85.62	84.17	112.79

*출처 : 다음금융, 한국기업데이터(주) 재구성

[비츠로테크] 비츠로테크는 1968년에 설립된 기업으로, 크게 전력의 생산, 공급에 필요한 전기 제어장치를 개발, 제조 및 판매를 하는 전력기기사업과 플라즈마응용, 진공상태 초정밀접합, 특수공정 설계 등을 이용하여 각종 프로젝트 납품을 하는 특수사업, 일차전지를 제작하는 전사업으로 구분할 수 있으며, 차단기 및 개폐기, 수배전반을 판매하는 전력기기사업을 주된 사업으로 영위하고 있다.

특히, 비츠로테크의 다양한 사업들 중 특수사업을 영위하는 계열회사 비츠로넥스텍은 기타사업으로 산업 및 방사성폐기물의 열처리 환경 분야와 나노 재료개발 등의 신소재 분야 등에 적용이 가능한 고온 플라즈마 시스템을 개발하여 납품하고 있으며, 이러한 플라즈마 기술을 이용하여 산업전반에 발생하는 독성폐액을 열분해 산화처리를 하는 사업과 방사성폐기물 및 폐액처리, 산업폐기물을 처리하고 발생하는 부산물을 환경친화적으로 최종 배출하는 일련의 공정설비를 사업화하여 진행하고 있다.

[표 6] 비츠로테크 주가추이 및 기본 재무현황

(단위 : 원, 억 원, %)

구분	2018년	2019년	2020년
매출액	1,449	3,110	3,076
영업이익	205	382	333
당기순이익	155	298	277
부채비율(%)	55.84	48.78	46.81

*출처 : 다음금융, 한국기업데이터(주) 재구성