

高準位放射性廢棄物의 新資源化

原子力發電의 開發利用 推進에 있어서 앞으로 남아있는 큰 課題의 하나가 高準位(放射性)廢棄物의 처리이다. 高準위폐기물은 使用後核燃料의 再處理에 의해서 발생하는데, 재처리하지 않은 사용후핵연료도 이 類로 취급된다. 폐기물이라면 언젠가 처분해야 하는데, 그에 앞서 아직 이용할 수 있는 물질이 포함되어 있지 않은가, 또한 그것을 분리해냄으로써 실제의 廢棄量을 감소시킬 수 있지 않을까? 확인해 볼 필요가 있다.

高準위폐기물의 용도로는 방사성동위원소나 熱源으로의 이용이 우선 생각나는데, 최근 주목되고 있는 것은 함유된 여러 물질, 특히 貴金屬元素의 新資源으로의 가능성이다.

예를 들면 미국에서의 試算에 의하면 사용후 핵연료 1톤(우라늄)에 포함된 귀금속류는 27,000 달러의 가치가 있다고 한다. 이것은 현재의 再處理費用에서 불과 수%에 불과하나 天然產貴金屬의 수요확대와 資源枯渴의 경향, 또한 재처리 본래의 效用인 回收우라늄과 플루토늄의 가치를 종합적으로 감안하면 장래의 기대는 클 것이다.

현재는 사용후핵연료의 재처리와 거기에 따르는 방사성폐기물의 處理·處分코스트는 원자력 발전의 뒷처리 비용에 불과하나 방사성폐기물을 효과적으로 資源化할 수 있으면 核燃料사이클코스트 즉, 원자력발전코스트의 低減이 기대될 뿐만 아니라 廢棄物體의 減量과 처리처분법의 合理化도 기대되며 따라서 퍼브릭아셴텐스에도 매우 유용해서 一石二鳥, 三鳥의 효과가 예상되는 것이다.

1. 高準位廢液의 含有物質

原子爐內에서 우라늄(및 여기서 轉換된 플루

토늄)이 核分裂하여 나누어지면 그 破片이 갖고 있는 運動에너지가 주위의 물질에 흡수되어 熱에너지로 변한다. 우라늄의 破편(즉, 核分裂生成物)은 燃料棒에 갇혀있는데, 어느 정도이상 모여지면 핵분열반응을 방해하게 되므로 연료봉을 原子爐에서 꺼내 再處理工場으로 보내어 쓰고 남은 우라늄과 플루토늄, 核分裂生成物을 選別할 필요가 있다.

우라늄의 破편이라고 해도 그 자체는 어떠한 물질이다. 어떤 물질이 되는가는 確率的인데 元素名으로 40종류 이상, 같은 원소라도 무게가 다른 동위원소라면 100종류 이상으로 그 分布는 통계적으로 알려져 있다. 따라서 原子爐는 熱에너지生産과 동시에 우라늄을 새로운 물질로 바꾸는 곳이라고 하겠다.

우라늄이 쪼개져서 생긴 직후이므로 天然의 것에 비해 構成粒子의 수도 不安定하기 쉬우며, 이것이 자연의 형으로 변하려고 하여 방사선과 熱을 낸다. 이것이 核分裂生成物을 대량으로 포함하는 高準위방사성폐기물 또는 사용후핵연료의 취급이 어려운 이유이다.

再處理工場에서는 원자력발전소에서 보내온 사용후핵연료를 細斷해서 窒酸으로 용해시켜 지르칼로이被覆管 등 不溶性인 부분을 제거하면

우라늄, 플루토늄, 超우라늄元素(TRU) 및 核分裂生成物(FP)이 窒酸水溶液으로 남는다. 다음에 이 水溶液을 分離工程에서 처리하면 우라늄과 플루토늄은 有機溶媒側에 옮겨지나 FP와 TRU는 窒酸側에 남으므로 이후는 폐기물로 취급된다. 즉, 이 窒酸水溶液을 蒸發濃縮 함으로서 減容시키고 酸度調整후 高準位(放射性)廢液으로 탱크에 저장하여 여기서 다시 冷却시킨다.

현재 高準位폐기물에 대해서 세계적으로 통념이 되고있는 것은 이 高準位廢液을 玻璃固化시켜 安定化시키는 것이나 미국 및 영국 등에서는 高準位폐액이 수십년간 탱크에 저장되어 있을때도 있으므로, 有用물질을 抽出利用하기 위해서는 용액 그대로의 것이 오히려 쉬울 것이다.

高準位廢液에는 수십종류의 원소가 포함되어 있으나 이중 新資源으로 이용할 수 있는 것이 어느 정도인가, 혹은 필연적으로 부수하는 방사능이 어느 정도인가를 정확히 평가하는 것은 간단하지 않다. 왜냐하면 재처리되는 사용후핵연료의 爐型式을 위시해서 燃燒度, 우라늄濃縮度 등 FP와 TRU의 組成과 量에 관계되는 特性이 고르지 못하며, 또 元素量의 각각이 방사성붕괴 즉 원자로에서 꺼낸후의 경과시간에 따라서 변하기 때문이다.

一 例로 현재 原子力發電의 主流인 輕水爐의 使用후 우라늄연료 1톤의 재처리에 의해서 발생하는 高準位廢液中의 FP 및 TRU元素의 組成을 表 1에 나타내었다. 이것은 燃燒度 3萬MWd/MT, 冷却期間 150日의 연료를 재처리한 직후 및 6년 경과했을때의 값을 계산하고 全量의 0.1% 이상 존재하는 것을 표시한 것이다.

2. 有用物質의 用途開發

여러 元素의 有效利用을 생각할때 그 특성이 응용조건이나 요구사항에 가장 가까운가 혹은 맞추기 쉬운가, 즉 응용방법을 먼저 設定할 필요가 있는데 일반적으로 다음과 같은 특성이 주목된다.

- a. 放射性崩壞熱의 發生量과 持續時間,
- b. 放射線의 種類와 強度 혹은 에너지,
- c. 特定元素의 存在(化學的, 物理的 혹은 放射能의 性格).

따라서 高準位廢液을 그대로 혹은 特定核種 또는 그룹으로 분리하는 문제가 있으나 이용방법과 대상핵종을 고려하여 알아보기로 한다.

(1) 에너지源(主로 熱源)

방사성물질은 방사선에너지의 흡수에 의해 그

〈表 1〉 高準位廢液中 FP 및 TRU元素의 組成

元 素	g/MT 重金屬	
	再處理直後	再處理後 6年
Se	4.71E+01	4.71E+01
Kr	3.36E+02	3.28E+02
Rb	3.00E+02	3.08E+02
Sr	8.04E+02	7.34E+02
Y	4.22E+02	4.19E+02
Zr	3.31E+03	3.37E+03
Mo	3.13E+03	3.15E+03
Tc	7.68E+02	7.68E+02
Ru	2.09E+03	1.97E+03
Rh	3.63E+02	3.66E+02
Pd	1.20E+03	1.31E+03
Ag	5.79E+01	5.74E+01
Cd	7.72E+01	7.76E+01
Sn	4.78E+01	4.74E+01
Te	5.17E+02	5.22E+02
I	2.48E+02	2.48E+02
Xe	4.94E+03	4.94E+03
Cs	2.50E+03	2.23E+03
Ba	1.26E+03	1.53E+03
La	1.15E+03	1.15E+03
Ce	2.47E+03	2.25E+03
Pr	1.09E+03	1.09E+03
Nd	3.52E+03	3.73E+03
Pm	1.00E+02	2.05E+01
Sm	7.40E+02	8.17E+02
Eu	1.66E+02	1.55E+02
Gd	9.08E+01	1.05E+02
F, P. 合計	3.18E+04	3.18E+04
U	4.79E+03	4.79E+03
Np	4.19E+02	4.19E+02
Pu	4.42E+01	5.28E+01
Am	1.29E+02	1.30E+02
Cm	3.19E+01	2.18E+01
TRU 合計	5.42E+03	5.42E+03

온도가 상승하므로 주변물질과의 사이에 溫度差가 생긴다. 이 온도차를 이용하면 直接發電(原子力電池)이나 熱媒體를 사용하는 시스템으로 發電이나 暖房이 가능해진다.

直接發電시스템으로는 방사성물질 사이에 p型, n型 半導體를 두고 양단을 냉각해서 제에백效果에 의해 回路에 熱電流를 발생시키는 방식이 있다. 미국에서는 高準位廢液에서 대량으로 얻어지는 스트론튬-90을 이용해서 이 방식을 實用化하여 1960년대 초부터 北極圈의 氣象觀測基地에서 사용하고 있으며, 500와트級 出力의 것이 10년이상 無人運轉되고 있다. 또한 이 시스템은 海上石油스테이션, 通信中繼拋點, 宇宙開發 등에도 이용된다.

그외에 방사성물질을 함유하는 棒狀物質을 異種金屬의 2重管(즉, 텅스텐과 니켈)내에 密封하고 管과 管 사이를 眞空으로 유지하면 內側의 金屬管 온도가 방사선에 의해 상승하여 熱電子가 방출되어 兩管 사이에 電壓이 발생하는(熱電子發電) 방식도 생각된다. 직접발전에는 放射性核種이라면 어느 것이나 원리적으로 가능성이 있으나 存在量이나 特性을 감안하여 스트론튬과 세슘의 利用實績이 많은 것 같다.

高準位廢液의 固化體 혹은 사용후핵연료체 그 자체의 外側을 熱媒體로서 냉각하여 熱源으로 이용하는 熱機關, 즉 放射性廢棄物貯藏 施設을 그대로(臨界가 없는) 原子爐로 하는 가능성이 고려되는데 이것은 發熱體의 온도가 낮기 때문에 熱機關으로의 효율을 크게 기대할 수가 없어 園藝하우스, 養魚場, 溫水풀 정도의 용도 밖에 없을 것 같다.

(2) 放射線源

放射線(放射性同位元素)의 이용은 원자력평화 이용 초기부터 개발이 적극적으로 추진되어 온 것은 잘 알려져 있다. 대규모 이용의 線源으로는 종래는 주로 코발트-60과 세슘-137이 일반적이나, 특히 코발트-60에 대해서는 供給面에 限界가 있기 때문에 高準位廢液 혹은 그 含有物

質에 의한 代替가 고려된다.

방사선이용의 주된 분야로는 우선 農業, 醫療 등의 bio分野에서 감자의 發芽防止와 오이파리의 不妊化驅除가 미국과 일본에서 실적이 있으며, 癌의 치료와 殺菌, 殺蟲 등에서도 성과가 있다. 미국에서는 세슘-137의 대량이용으로 下水汚物의 살균에 응용해서 都市區域의 下水處理에 널리 이용하려는 계획이 있다.

또 工業分野에서는 透過型두께計, 密度計, 準位計, 螢光X線分析裝置 등 計測用線源으로의 이용이 이미 일반화되고 있는 외에 최근에는 放射線照射에 의해서 誘起 혹은 促進되는 化學反應을 이용하는 有機合成(폴리에틸렌製造, 플라스틱材의 품질개량), 高分子架橋(폴리에틸렌, 塩樹脂, 木材나 콘크리트의 플라스틱複合體 제조 등), 産業廢棄物處理(工場排煙의 脫硫黃, 脫窒, 廢水分解, 셀룰로오스系廢棄物의 粉碎나 加水分解) 등의 응용실적은 대단히 많으며, 非破壞檢査의 진보에 따르는 試驗用線源, Sensor 등 첨단 기술분야에서의 이용도 확대되고 있다(그림 1 參照).

현재 산업분야에서 大型의 照射線源으로 이용되고 있는 것은 거의 코발트-60인데, 이것을 충당하기 위해 전세계에서 가동중인 大型照射施設(즉, 原子爐에서 제조하는)은 약 130개소가 되며 공급력은 合計 약 7 천만퀴리이다. 한편 수요 면에서는 앞으로 10년간 전세계에서 필요로 하는 線源은 400~500萬퀴리가 될 것으로 예측된다. 따라서 이 수요 모두를 코발트-60으로 충당한다는 것은 불가능하다고 보여지므로 이것을 高準位廢液에 대량으로 포함되어 있는 세슘-137로 대응하면 공급력과 경제성의 면에서 큰 이득이 기대된다. 세슘線源은 코발트線源과 線質이 다르기 때문에 용도에 따라 각각 長短點이 있으나 半減期(壽命), 交換補充, 輸送 등의 면에서 세슘이 有利할 가능성도 있으므로 세슘이 高準位廢液에서 대량생산되면 더욱 유리해 질 것이다. 참고로 1984년 현재 미국에서의 線源價格

은 퀴리당 코발트-60이 1달라, 세슘-137은 > 1/10이라고 한다.

한편 再處理高單位廢液 혹은 그 固化體를 그 대로 放射線源으로 이용하는 것은 線源元素의 混在로 인해서 線種이나 強度分布가 고르지 못하거나 혹은 취급상의 不便 등 종래의 (즉, 高單位廢棄物處理對策으로서의) 高單位廢液固化方法이 線源製造法이 아니므로 기술적 문제점 외에 安全上, 法規制上 어려운 문제가 예상된다.

(3) 原材料資源

高單位廢液에는 방사성, 非放射性的의 다수의 원소가 함유되어 있으며 그중 몇가지의 含有量은 天然產(鑛石)으로 부터의 生産量을 上廻하는 것도 예측된다. 原材料資源으로 대상이 되는 것은 주로 非放射性인 것이나 용도에 따라서는 微量의 방사능은 무방한 것, 혹은 減衰를 기다리면 法規에 지정된 방사성물질취급을 하지 않아도 되는 것도 있다.

미국 등에서 이 분야의 연구개발이 적극적으로 추진되고 있는 것은 高單位廢棄物對策 뿐만 아니라 최근 특히 廢液에 다량으로 포함되어 있는 貴金屬元素가 國家戰略物資로 취급받게 되었기 때문이다. 예를 들면 미국의 어떤 文獻에서는 다음과 같이 기술되어 있다.

사용후핵연료에는 白金族元素중의 3種~루테튬, 로듐, 팔라듐 및 近緣元素로 自然界에 거

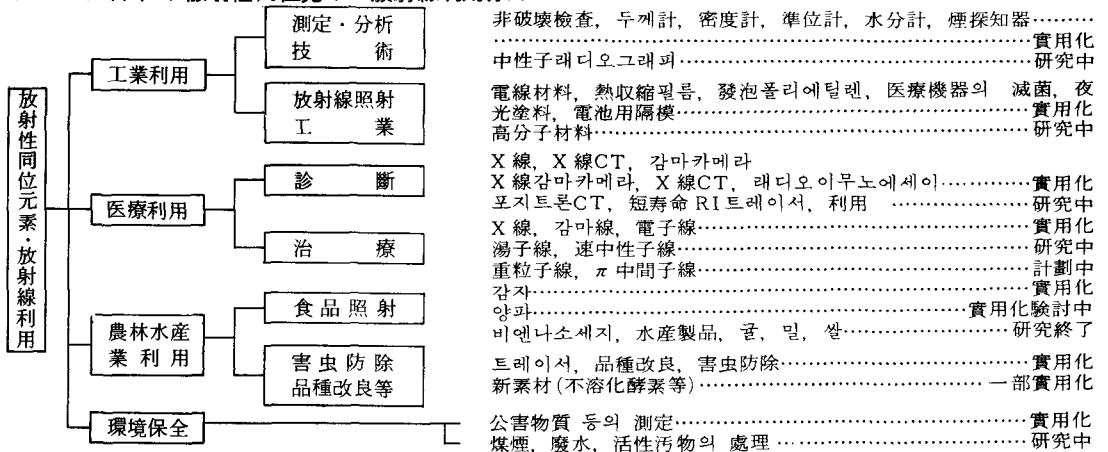
의 존재하지 않는 테크네튬이 포함되어 있다. 앞의 세가지 원소의 이용방법은 공업적으로 충분히 확립되어 있는데 이들을 포함해서 白金族元素의 공급은 거의 미국 영토밖의 供給源에 의존하고 있기 때문에 戰略物資로 지정되어 있으며 따라서 이들을 사용후핵연료에서 회수하는 것은 현저한 인센티브가 존재한다.

즉, 플루토늄의 國際擴散防止와 天然우라늄資源의 공급과잉 등의 이유로 原子力發電用燃料의 商業用再處理를 중지한 미국에서 다른 관점에서 재처리의 필요성이 인정되는 현상이 생기고 있는 것이다.

高單位廢液에는 사용후핵연료 1톤당 루테튬 약 2킬로그램, 로듐 약 360그램, 팔라듐 약 1.3킬로그램이 포함되어 있다. 이들은 약간의 放射能을 포함하고 있으나 그 比放射能은 루테튬을 제외하면 낮으므로 응용분야를 한정하면 天然產의 白金族元素를 충분히 보충할 수 있는 新資源이 된다. 또한 방사능이 없는 즉, 안정된 白金族元素를 얻고자 할때는 우라늄濃縮과 같은 원리로 레이저에 의한 同位元素分離의 응용이 유력시 된다.

白金族系 貴金屬은 미려한 외관과 높은 融點, 耐蝕性 등의 특성에 의해서 옛날부터 장식품이나 義齒에 사용되어 왔는데, 현재는 일렉트로닉스機器, 航空機엔진 등 첨단기술에 다량으로 사

(그림 1) 日本의 放射性同位元素·放射線利用分野



용되게 되었고 특히 자동차의 排氣가스가 환경 대책의 문제가 되고 부터는 Converter 등 公害防止裝置에 不可缺의 물질이 되어 수요가 비약적으로 증대했다. 또 石炭液化, 石油精製, 肥料 제조 등 化學工業의 触媒材로 다양한 용도가 있다.

미국에서는 현재 이들 3종 백금족원소 공급의 96%까지를 소련과 南阿聯邦에 依存(나머지 중 3%는 캐나다)하고 있기 때문에 정치상의 이유로 그 공급이 갑자기 폐쇄될 우려가 있다. 또한 최근에는 소련이 팔라듐의 가격을 갑자기 3배로 인상한 例도 있다.

한편 1973년부터 2000년 사이에 발생하는 미국 商業用原子爐의 사용후핵연료를 全量 재처리한다고 하면 회수되는 이 세元素는 合計 190톤이나 되어 이 기간동안의 루테튬수요의 5~8%, 로듐수요의 30~50%, 팔라듐수요의 6~9%를 充當할 수 있다는 試算이 나오고 있다. 그리고 백금족원소의 가격은 投機要素가 다르기 때문에 전망이 어려운 점이 있으나 사용후핵연료로 부터의 회수코스트는 天然產의 것과 비교하면 팔라듐에서 2.7배, 로듐에 대해서는 2.3배 정도이며 이 정도의 차이는 天然資源의 고갈과 회수기술의 향상에 의해 가까운 장래 充분히 흡수할 수 있을 것으로 豫측되고 있다. 또 연료 1톤에 포함되는 白金族系 貴金屬은 27,000달러(1985年 가격)의 가치가 있다는 推定도 있다.

테크네튬은 天然에는 거의 존재하지 않기 때문에 종래의 貴金屬은 아니나 사용후핵연료 1톤당 약 770그램이 생성되고 있으며, 그 防蝕性能과 觸媒作用으로 資源이 빈약한 白金族元素의 公業이용을 대체할 수 있는 원소로 기대되고 있다. 예를 들면 炭素鋼材를 물과 접촉시켜서 사용하는 경우 물에 미량의 테크네튬을 첨가하면 鋼材의 부식을 장기간 방지할 수 있다는 것이 확인되고 있으며, 原子爐冷却水系統이나 耐酸性容器 등으로의 응용이 기대되고 있다. 또 有機化學分野에서 촉매로 유효하다는 것도 알려져 있

다. 放射線醫學分野에서는 1970년대부터 診斷用 방사성동위원소로 테크네튬이 종래의 요오드-131과 위치 바꿈을 하고 있다.

그밖에 테크네튬 固有의 성질로 비교적 높은 온도에서 超電導性을 나타내기 때문에 장래의 新素材로서 길이 열릴 것 같다.

(4) 其 他

넛튬, 아메리슘, 퀴륨 등 TRU元素의 대부분은 현재 용도가 한정되어 있어서 소비량도 적다. 세륨 등 稀土類元素는 최근 일렉트로닉스機器의 素材로 시대의 각광을 받고 있는데, 天然產의 資源量과 產地分布 對比에서 競合性이 있기는 하나 한편 高準位廢液이라는 새로운 자원이 이용될 수 있다면 뜻밖에 새로운 용도가 생길 가능성도 있다.

그밖에 高準位廢液에 포함되어 있는 것은 아니나 再處理工場의 燃料溶解工程에서 나오는 排가스에는 稀가스元素인 크립톤이나 크세논이 포함되어 있다. 연료 1톤當의 함유량에서 보면 크립톤은 많지않고 용도로도 放電管 정도에 불과하나 크세논은 5킬로그램 가까이 되며 또한 거의 非放射性이다. 크세논은 工業과 醫藥에서의 이용이 많은데, 현재 공급을 酸素製造工場의 液體空氣의 分留工程에 의존하고 있어서 가격이 비싼 것이 이용법의 發展을 방해하고 있으므로 재처리공장에서의 유효한 회수방법 확립이 기대된다.

3. 有用物質抽出技術의 開發

高準位廢液에서 유용한 物質을 회수하여 이용하기 위해서는 그 分離抽出技術의 확립이 전제가 된다.

기초연구의 主流는 재처리에 의해서 발생하는 高準位廢液의 방사성물질을 그룹으로 나누어 攪拌과 消滅處理處分을 合理的으로 하려는 것에 두고 있기 때문에 群分離技術이라고 불리고 있는데 이것을 다시 유용물질의 回收利用과 연결하는 기술시스템으로 高度化시킬 필요가 있다.

(1) 日本의 技術開發

현재 일본에서 이 분야의 기초연구는 주로 日本原子力研究所에서 추진되고 있다. 日原研에서는 1972년경 부터 高準位廢液에 포함된 스트론튬, 세슘 등 核分裂生成物을 有效이용한다는 견지에서 分離法의 개발이 시작되었는데, 1975년대 後半부터는 高準位廢液의 合理的인 처분방법의 일환으로 群分離技術에 重點이 두어졌다.

예를 들면 1984년 8월 日本原子力委放射性廢棄物對策專門會가 정리한 「放射性廢棄物處理處分方策에 대해서」(中間報告)를 보면, 群分離技術은 高準위폐기물관리의 합리화, 발생량의 저감, 자원의 有效이용 등을 목표로 하는 將來技術로서 위치를 확고히 하고 當面은 日原研 등에서 기초연구를 행한다고 되어 있다.

日原研에서의 群分離技術에 대한 구체적인 개발목표는 다음과 같다.

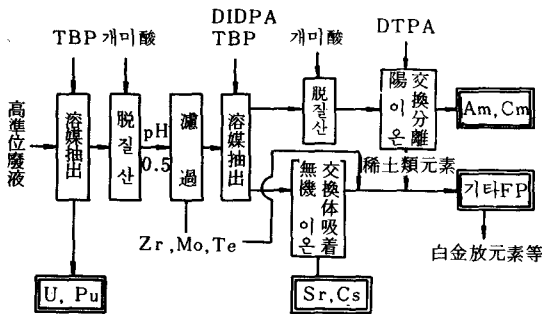
① 超長半減期이고 毒性이 강한 TRU 元素群과 수백년간에 걸쳐 發熱의 主役이 되는 스트론튬-90, 세슘-137을 高準位廢液에서 분리한다.

② 분리한 TRU 원소는 安定처리후 처분하거나 또는 에너지源으로 有效이용하면서 처분한다. 스트론튬과 세슘은 放射線源으로 有效이용한다.

③ 기타 廢液에 포함된 로듐과 팔라듐 등 貴金屬元素은 新資源으로의 有效이용을 위해서 회수방법을 개발한다.

현재 日原研에서 개발중인 分離프로세스는 그림 2에서와 같이 재처리와 같은 溶媒抽出法에 有機酸處理沈澱法, 이온交換法 등을 組合시킨 것이다. 1982년부터는 실제의 高準位廢液을 사용하는 實驗室規模의 연구까지 진전되고 있다.

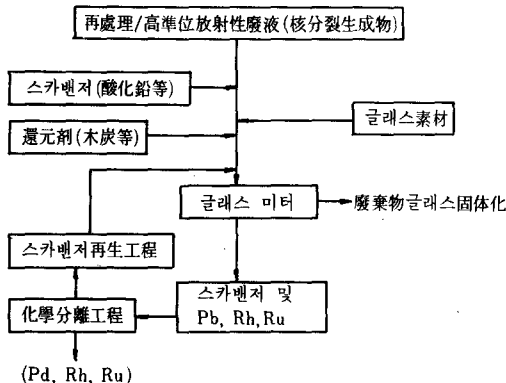
(그림 2) 日原研에서 開發中인 群分離프로세스



(2) 美國 PNL 的 技術開發

日本의 연구가 방사성폐기물대책의 종합적이고 도화를 중시하고 있는 것과는 대조적으로 미국 Battelle 記念財團 PNL에는 商業用 및 國防用 高準位核廢棄物에서 白金系 貴金屬을 경제적으로 회수하는 것을 주목적으로 하는 연구개발과 기술평가를 거쳐 20년동안 해오고 있으며, 이에 投入된 자금도 200만달러 이상이 된다고 한다. 이것은 白金族元素의 重要性과 供給源 多樣化의 意義가 인정되었기 때문이다.

(그림 3) 高準位廢液固化工程에 부설하는 白金族元素回收工程의 概念圖



현재 PNL이 주력하고 있는 프로세스의 개념은 그림 3 과 같은데, 이것은 종래의 高準位廢液 글래스固化工業의 일부에 백금족원소의 회수공정을 부가하는 것만으로 실현할 수 있는 것으로 일본 제 2 재처리공장에서 채택도 검토할 가치가 있다고 한다.

(3) 其他

그밖에 1970년대 후반이후 放射性廢棄物管理對策의 관점에서 群分離·消滅處理에 대해서 평가연구를 대규모로 행한 例로는 미국 Oak Ridge 國立研究所를 幹事機關으로 한 미국 각 연구소의 업적, 혹은 이탈리아의 ISPRA 原子力研究

所가 중심이 된 EC協同베이스의 연구 등이 알려져 있으나, 하드웨어까지를 포함시킨 기술개발은 日原研과 미국 PNL수준을 넘는 것은 아니라고 한다.

또 1983년 및 1984년에 프랑스政府의 原子力安全高等評議會에 제출된 카스틴報告에서 TRU元素의 분리를 포함한 高度化再處理技術開發의 필요성이 강조된 것은 잘 알려져 있다.

4. 結 論

元素를 變換하려는 기술연구의 역사는 化學의 시작보다 오래됐으며, 특히 中世의 歐洲에서는 납을 금 등의 귀금속으로 바꾸려는 연구가 수세기에 걸쳐 활발했으나 결과는 不成功으로 끝났다. 그러나 原子力時代의 到來와 함께 새로운 鍊金術이 原子爐에서 실현되었다. 金은 생산되지 않았으나 貴金屬을 포함한 수많은 유용한 원소가 우라늄에서 創出되고 있다.

이들 元素의 資源化를 생각하는데 있어서 하

나의 문제점은 放射能인데, 放射線 減衰를 기다리는 외에 레이저法同位元素分離 등 보다 적극적인 대책이 고려되며 또 용도에 따라서는 미량의 방사능 존재가 오히려 좋을때, 즉 일종의 유효이용효과가 기대되지 않는 것도 아니다.

이 분야의 연구를 추진하여 産業化하기 위한 다음의 과제는 경제성인데, 이 경우 자원으로서의 가치와 함께 高準位廢棄物對策의 負荷輕減이라는 가치를 포함한 종합평가가 필요하다.

또 資源價値는 用途와 賦存量의 밸런스로 정해지는데 용도는 앞으로의 기술개발과 그 코스트 여하에 따라 얼마든지 넓혀나갈 가능성이 있으며, 高準位廢棄物의 處分코스트에 대해서는 아직 不確定要素가 있다. 따라서 現時點에서 결론을 내릴수는 없으나 高準位放射性廢棄物이 단순히 위험한 쓰레기나 재가 아니라 귀중한 자원으로 적극적으로 이용할 수 있는 방법이 있음은 틀림없을 것이다.

토막常識

포도酒의 포도收穫期の 3重水素

食生活이 西歐化됨에 따라 포도주를 좋아하는 사람들이 차차 늘어 그 多様な 포도주 맛에 식견이 있는 사람들도 많아졌다.

식당에서 포도주 리스트로 그 産地와 年度를 보고 선택할 수 있다는 것은 즐거운 일이다. 그 와인을 만드는데 사용된 포도를 수확한 해를 빈테이지(vintage)라고 한다. 같은 장소라도 그해의 氣象條件(日照時間과 氣溫 등)에 따라서 포도의 成熟 進行程度가 크게 다르며, 그것이 와인의 맛에 영향을 준다. 그래서 와인의 라벨에는 收穫年이 표시되어 있다.

빈테이지에 의해서 달라지는 것은 맛 뿐만이 아니다. 실은 트리튬이라는 放射性核種의 濃度도 다르다. 트리튬은 3重水素라고도 하는데, 水素의 放射體同位元素로서 自然放射性物質의 하나이다. 감마線은 내지 않고 베타線 만을 내는 半減期 12年정도의 방사성물질이다. 宇宙線에

포함되어 있는 中性子가 大氣中の 酸素나 窒素와 충돌해서 생성되어 물의 형태로 자연계에 존재하고 있다.

그러나 1950년대부터 原水爆實驗이 시작됨으로서 人工의으로도 生成되어 자연의 트리튬 레벨이 훨씬 높아졌다. 水分에 포함되는 트리튬의 濃度는 核實驗이 활발했던 1960년대 前半을 정점으로 그후 해마다 下降하고 있다.

헝가리産 포도주의 트리튬농도를 해마다 측정 한 결과를 보면 1리터의 와인에 1960년은 48피코퀴리, 1963년은 6,400피코퀴리, 1970년은 540피코퀴리, 1976년에는 330피코퀴리로 되어있다. 최근의 와인은 수십피코퀴리정도일 것이다. 와인은 그 원료포도가 수확된 해의 환경트리튬수준을 잘 반영하고 있으며, 맛에도 함수 관계가 있을지도 모르겠다.