

## 제 6 장 사용후연료 및 재처리 공정

한국교통대학교 화공생물공학과 박병홍

핵연료가 원자로 내에서 사용되면 다음과 같은 세가지 변화가 일어난다. 첫째 핵분열 물질이 소모된다. 둘째 중성자를 흡수하는 핵분열 생성물이 생성된다. 셋째 주로 우라늄과 플루토늄의 동위원소들로 되어있는 일련의 물질이 생성된다. 이 변화로 인하여 핵연료의 반응성은 떨어지게 되고 임계에 도달하지 못하게 될 때에는 사용된 핵연료는 원자로로부터 배출되고 새로운 핵연료가 보충된다.

그러나 사용 후 핵연료는 분열성 물질이 될 수 있는  $U^{238}$  또는 토륨과 같은 물질을 포함하고 있을 뿐만 아니라  $U^{235}$  또는 플루토늄과 같은 분열성물질도 많이 포함하고 있다. 이들 유용한 물질을 사용할 수 있기 위하여는 중성자를 흡수하는 핵분열 생성물을 제거하여야 한다. 따라서 재처리 목적은 (1) 유용한 분열성물질 또는 분열성물질이 될 수 있는 물질을 회수하고 (2) 방사성 핵분열생성물을 제거하는데 있다. 한편 사용 후 핵연료는 원자로시설에 위치한 사용 후 핵연료 저장시설에 저장되는 것이 보통이며 이 방법은 임시적 방편에 불과하므로 장기적인 안전보관 방법이 연구되고 있다. 재처리 후의 방사성 폐기물은 안정된 장기 보관을 위한 형태로 변화될 수 있다. 따라서 재처리의 세 번째 목적은 사용 후 핵연료 중의 방사성 물질을 안전한 장기보관을 위한 형태로 변화시키는데 있다. 부가적으로  $Sr^{90}$ 이나  $Cs^{137}$ 같은 분열성 물질을 방사선원으로 이용하거나 넵튬, 아메리슘 또는 큐륨과 같은 초우란 원소를 분리 이용하기 위한 방편이 될 수도 있다.

이상과 같은 여러 가지 장점에도 불구하고 현재 세계적인 상용 재처리 능력은 극히 서서히 증가하고 있는 추세이며 그 이유는 기술적 문제이기 보다는 분리된 핵물질이 일부 국가들 또는 파괴분자들에 의한 군사적 이용을 우려한 정치적 요소도 큰 것으로 생각되고 있다.

### 6.1. 사용 후 핵연료의 조성

재처리 시설의 원료로 많이 사용되는 대표적인 상용 경수로의 사용 후 핵연료의 조성을 표 6.1에 나타냈다. 표시된 값은 초기에 3.3% 농축 우라늄으로 제조된 연료를 가압경수로(PWR)에서 33,000MWd/MT까지 연소시킨 후 150일간 냉각시켰을 경우에 해당된다. 이 표에서 사용 후 핵연료는 수많은 핵종을 포함하고 있고 방사능이 아주 높으며 파워가 크게 떨어져 있음을 알 수 있다. 높은 방사능의 50% 이상이  $\gamma$ 선으로 방출되므로 재처리 시설에서는 차폐가 잘 되어야 한다는 것도 알 수 있다.

150일의 냉각 기간은 설계 및 운용에 많이 적용되는 조건이며 이 기간 동안 방사능이 감소되어 표에 나타난 값과 같이 되며 삼중수소,  $Kr^{85}$  및  $I^{129}$ 를 제외한 기체방사성 물질의 방사능이 문제가 되지 않을 정도로 낮아지고  $I^{131}$ 의 방사능이 취급할 수 있을 정도로 낮아진다. 또한  $Np^{239}$ 가  $Pu^{239}$ 로 완전히 전환되며  $U^{237}$ 이 완전히 붕괴한다.

배출되는 사용 후 핵연료의 양은 연소율과 열효율을 알면 계산된다. 1000MWe의 PWR의 경우 연소율 33,000MWd/MT, 열효율 32.5% 그리고 가동을 0.8을 가정하면 연간 3.3%로 농축된 우라늄 27,271kg이 필요함을 알 수 있다. 그리고 방출되는 사용 후 핵연료에는 우라늄이 26,011kg 포함

되어 있으며 이때의 농축도는 0.83%이다.

표 6.1 가압경수로(PWR)에서 배출된 사용 후 핵연료의 조성

	g/Mg	Ci/Mg	W/Mg
Actinides			
Uranium	$9.54 \times 10^5$	4.05	$4.18 \times 10^{-2}$
Neptunium	$7.49 \times 10^2$	$4.81 \times 10^1$	$5.20 \times 10^{-2}$
Plutonium	$9.03 \times 10^3$	$1.08 \times 10^5$	$1.52 \times 10^2$
Americium	$1.40 \times 10^2$	$1.88 \times 10^2$	6.11
Curium	$4.70 \times 10^1$	$1.89 \times 10^4$	$6.90 \times 10^2$
Subtotal	$9.64 \times 10^5$	$1.27 \times 10^5$	$8.48 \times 10^2$
Fission products			
Tritium	$7.17 \times 10^{-2}$	$6.90 \times 10^2$	$2.45 \times 10^{-2}$
Selenium	$4.87 \times 10^1$	$3.96 \times 10^{-1}$	$1.50 \times 10^{-4}$
Bromine	$1.38 \times 10^1$	0	0
Krypton	$3.60 \times 10^2$	$1.10 \times 10^4$	$6.85 \times 10^1$
Rubidium	$3.23 \times 10^2$	$1.90 \times 10^2$	0
Strontium	$8.68 \times 10^2$	$1.74 \times 10^5$	$4.50 \times 10^2$
Yttrium	$4.53 \times 10^2$	$2.38 \times 10^5$	$1.05 \times 10^3$
Zirconium	$3.42 \times 10^3$	$2.77 \times 10^5$	$1.45 \times 10^3$
Niobium	$1.16 \times 10^1$	$5.21 \times 10^5$	$2.50 \times 10^3$
Molybdenum	$3.09 \times 10^3$	0	0
Technetium	$7.52 \times 10^2$	$1.43 \times 10^1$	$9.67 \times 10^{-3}$
Ruthenium	$1.90 \times 10^3$	$4.99 \times 10^5$	$3.13 \times 10^2$
Rhodium	$3.19 \times 10^2$	$4.99 \times 10^5$	$3.99 \times 10^3$
Palladium	$8.49 \times 10^2$	0	0
Silver	$4.21 \times 10^1$	$2.75 \times 10^3$	$4.16 \times 10^1$
Cadmium	$4.75 \times 10^1$	$5.95 \times 10^1$	$2.13 \times 10^{-1}$
Indium	1.09	$3.57 \times 10^{-1}$	$1.04 \times 10^{-2}$
Tin	$3.28 \times 10^1$	$3.85 \times 10^4$	$1.56 \times 10^2$
Antimony	$1.36 \times 10^1$	$7.96 \times 10^3$	$2.74 \times 10^1$
Tellurium	$4.85 \times 10^2$	$1.34 \times 10^4$	$1.66 \times 10^1$
Iodine	$2.12 \times 10^2$	2.22	$8.98 \times 10^{-3}$
Xenon	$4.87 \times 10^3$	3.12	$3.04 \times 10^{-3}$
Cesium	$2.40 \times 10^3$	$3.21 \times 10^5$	$2.42 \times 10^3$
Barium	$1.20 \times 10^3$	$1.00 \times 10^5$	$3.93 \times 10^2$
Lanthanum	$1.14 \times 10^3$	$4.92 \times 10^2$	8.16
Cerium	$2.47 \times 10^3$	$8.27 \times 10^5$	$7.87 \times 10^2$
Praseodymium	$1.09 \times 10^3$	$7.71 \times 10^5$	$5.73 \times 10^3$

Neodymium	$3.51 \times 10^3$	$9.47 \times 10^1$	$2.65 \times 10^{-1}$
Promethium	$1.10 \times 10^2$	$1.00 \times 10^5$	$9.17 \times 10^1$
Samarium	$6.96 \times 10^2$	$1.25 \times 10^3$	2.18
Europium	$1.26 \times 10^2$	$1.35 \times 10^4$	$7.19 \times 10^1$
Gadolinium	$6.29 \times 10^1$	$2.32 \times 10^1$	$3.34 \times 10^{-2}$
Terbium	1.25	$3.02 \times 10^2$	2.54
Dysporosium	$6.28 \times 10^{-1}$	0	0
Subtotal	$3.09 \times 10^4$	$4.18 \times 10^5$	$1.96 \times 10^4$
Total	$9.95 \times 10^5$	$4.31 \times 10^6$	$2.04 \times 10^4$

## 6.2. 재처리법

세계적으로 재처리공정은 용매추출을 정제방법으로 하는 Purex법을 기본으로 하고 있다. Purex법 이외에도 여러 방법들이 사용되었거나 개발되었다. 이들 방법은 크게 나누어 습식 재처리법과 건식 재처리법으로 나눌 수 있는데 그 내용은 다음과 같다.

### 6.2.1. 습식 재처리법

#### 6.2.1.1. Purex 공정

TBP를 추출용매로 사용하는 가장 일반적이고 중요한 공정이 Purex 공정으로 그 공정도는 그림 6. 1과 같다.

그림에서 보는 바와 같이 사용 후 핵연료는 집합체로부터 해체가 된 후 절단되고 강질산에 용해시키고 고체-액체 분리가 이룩된 다음 전처리 공정을 거쳐서 우라늄 및 플루토늄의 회수를 위한 공제염공정, 상호분리공정, 최종 제염공정, 농축공정을 차례대로 거치게 된다.

우라늄과 플루토늄이 공제염 공정에서 공제염된 후 상호분리공정에서 우라늄이 플루토늄으로부터 분리된다. 여기에서 플루토늄은 수용상에 함유된 채 플루토늄 최종 제염공정으로 주입되고 우라늄은 유기상에 함유된 채 역추출 단계로 주입되어 여기에서 우라늄이 수용상으로 역추출된 후 우라늄 최종 제염공정으로 주입된다. 상호분리 공정에서의 우라늄 및 플루토늄의 상호분리는 Ferrous sulfamate, Hydroxylamine nitrate와 같은 환원제 혹은 전기 화학적방법에 의한 플루토늄의 환원에 의해 Pu(IV)로부터 Pu(III)로 원자가를 변화시켜 Pu(III)의 유기상에 대한 추출성이 나쁜 성질을 이용하여 이룩된다. 상호분리 공정을 거친 우라늄 수용액은 상당히 낮은 우라늄 농도를 유지하기 때문에 우라늄 최종 제염공정으로 주입하기 전 우라늄 농도를 높여주기 위해 증발 농축장치에 의한 우라늄 용액 농축화가 요구되기도 한다. 농축된 우라늄 용액은 최종 제염을 위해 염석제를 첨가하고 용매추출, 용매세척, 역추출 공정을 다시 거치게 된다. 우라늄으로부터 분리된 Pu(III)수용액은 플루토늄의 최종제염을 위해 우선 Pu(III)를 Pu(IV)로 재산화 시켜야 하며 이를 위해 과잉으로 첨가된 환원제의 파괴를 도모해야 한다.

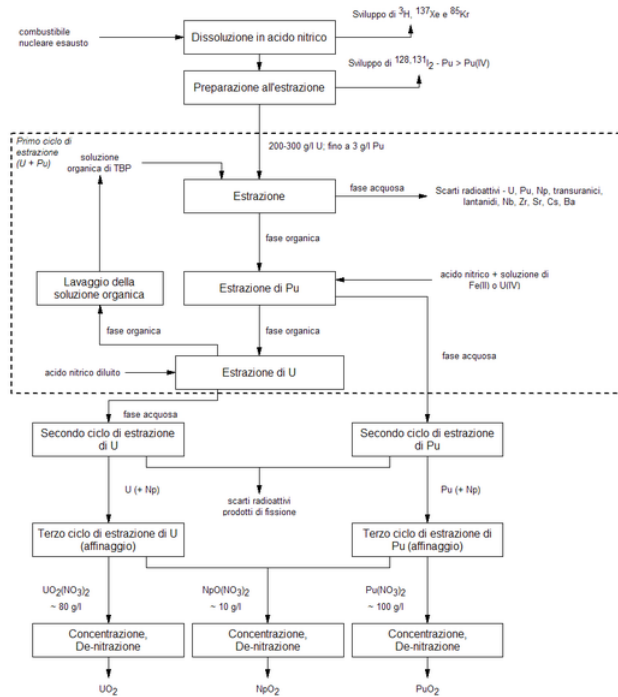


그림 6.1 Purex 공정 개념도

플루토늄의 재산화를 위해 아질산소다를 첨가하고 추출, 세척, 역추출 단계의 플루토늄 최종 제염 공정을 통과시킨다.

Purex 공정은 공제염 공정으로 주입되는 수용액의 산도에 따라 High-acid Purex 공정과 Low-acid Purex 공정으로 대별되는데 High-acid Purex 공정의 주안점은 루테늄의 제염계수를 높여 주는데 있으며 이 경우 용매추출 온도가 50°C를 넘게 되면 지르코늄의 제염계수가 떨어지는 문제점을 지니고 있다.

미국의 Hanford에서는 운전경비를 절감시키기 위해 플루토늄 및 우라늄의 최종 제염공정에서 배출된 추출 잔물을 공제염 공정으로 재순환시키는 공정을 시도한 바 있다. 이것의 장점은 최종 제염공정에서 야기될 수 있는 우라늄, 플루토늄의 손실을 최대한 방지를 하고 이로부터 최종 제염공정은 회수율에 주안점을 두기보다는 정제 개념에 주안점을 둘 수 있다는 장점을 지니게 된다.

### 6.2.1.2. Hexone 공정

Hexone 계열의 용매를 추출체로 사용하는 공정은 Purex 공정과 유사하며 단지 Purex 공정에서 TBP를 추출 용매로 사용하는 것에 반해 MIBK(Methyl Isobutyl Ketone)나 2-Methyl-2 Pentanone 등과 같은 Hexone 계열을 추출 용매로 사용하며 염석제로 질산 알루미늄을 이용한다.

공업용 Hexone 계열의 유기용매 내에는 Mesityl oxide와 Methylisobutyl carbinol과 같은 불순물이 다량 함유되어 있는데 이들을 정제하지 않고 직접 용매 추출에 이용하게 되면 다음과 같은 문제점을 야기시킨다.

즉 우라늄과 플루토늄의 용매 추출 시 Methyl oxide는 플루토늄의 회수율을 나쁘게 하고 Methyl isobutyl carbinol은 cerium에 대한 제염효과를 크게 낮추게 하는 악영향을 미친다. 따라서 Hexone 계열의 추출용매를 사용할 때는 반드시 1M의 Sodium dichromate, 질산용액, 수산화나트륨용액, 물의 순으로 세척하여 사용해야 한다.

Redox 공정: Hexone 계열의 추출용매를 사용한 대표적 공정이 Redox 공정이다. Redox 공정에서는 플루토늄이 Pu(VI)상태로 추출되기 때문에 플루토늄의 산화 상태를 최대로 하기 위해서 Sodium dichromate를 이용 Pu(IV)를 강제로 Pu(VI)로 산화시키며 주입액중 우라늄의 농도를 2M 까지 높여준다.

이 공정에서는 질산 알루미늄이 염석제와 용매 세척액으로 이용되는데 때에 따라서는 질산 암모늄이 염석제로 이용되기도 한다. 질산 암모늄의 경우 제염 효과에 있어서는 질산 알루미늄보다 탁월한 성능을 발휘하지만 유기물질 회수율 측면에서는 질산 알루미늄만 못하다. 우라늄 및 플루토늄이 상호분리는 Purex 공정과 마찬가지로 Ferrous sulfamate에 의해 플루토늄을 Pu(VI)로부터 Pu(III)로 환원시켜 분리시키며 분리된 Pu(III)는 최종 제염공정으로 주입하기 전 Sodium dichromate로 재산화시킨다.

Redox 공정에서 각 핵분열 생성물질에 대한 제염은 용매추출 과정에서 만족스럽지 못하게 달성되므로 역추출 과정에서도 제염 행위가 일어난다. 따라서 Purex 공정에 비하여 추출용매의 소모량이 증가되고 한번 사용된 추출용매는 용매 재생공정을 거치는 동안 용매로부터 핵분열 생성물질의 분리조작을 요하게 된다. 또한 루테늄의 제염은 Redox 공정에서 아주 어렵게 되므로 용매 추출에 의한 유기물질의 분리 정제 전에 전처리 공정에서 오존이나 Potassium permanganate에 의해 산화를 시켜 많은 양의 루테늄을 휘발성 루테늄으로 전환시키거나 용매에 추출성이 나쁜 루테늄 화합물로 전환시켜야 한다.

#### 6.2.1.3. 침전법

침전법을 이용한 사용 후 핵연료의 재처리는 일찍이 Bismuth Phosphate 공정으로 소개된 바 있다. 이 공정의 특징은 사용 후 핵연료로부터 플루토늄만을 선별 정제 회수하는 공정으로 우라늄은 핵분열 생성물질들과 함께 폐기물로 취급하는데 있고 Purex 공정의 전처리 공정에서 제염효과를 높이기 위해 본 방법이 이용되기도 하며 고준위 폐기물로부터 반감기가 긴 희토류의 회수를 위하여 ORNL에서 이 방법을 시도한 바 있다.

플루토늄은 그 산화상태에 따라 Pu(III), Pu(IV), Pu(VI)로 존재하는데 캐리어(용매추출 공정에서는 추출용매에 해당)로서 Bismuth phosphate를 이용했을 때 Pu(IV)는 결정화가 되어 침전되고 Pu(VI)는 용해액 내에서 이온으로 존재한다. 본 Bismuth phosphate 공정은 플루토늄의 이러한 성질을 최대한으로 이용 Pu(IV)와 Pu(VI)사이의 산화 환원을 번갈아 시행하면서 캐리어에 의한 결정화 및 용해를 반복시켜 플루토늄을 정제 회수시킨다.

본 공정에 있어서 플루토늄의 회수율은 약 98%정도이고 제염계수는  $10^7$ 정도이다.

한편 플루토늄의 결정화를 위한 캐리어로서는 Phosphate 외에 oxalate, fluoride, hydroxide, peroxide 등이 있다.

Purex 공정의 전처리 공정에서 본 방법을 이용했을 때 희토류와 함께 Strontium,  $Ce^{144}$  및  $Pm^{147}$ 을 90%이상 제거할 수 이어 Purex 공정에서의 제염효과를 높일 수 있고 이때 사용되는 캐리어로는 황산소다를 이용하며 침전된 결정구조는  $RE_2(SO_4)_3 \cdot Na_2SO_4 \cdot 2H_2O$ 가 된다.

이 경우 지르코늄 및 니오븀에 대해서는 150의 제염계수를 얻을 수 있고 루테늄 및 로듐에 대해서는 1100까지 제염계수를 얻을 수 있다.

#### 6.2.2. 건식 재처리법

건식법을 이용한 사용 후 핵연료 재처리법에는 불화물 휘발공정, 염화물 휘발공정, 고온 야금고정 및 고온 화학공정이 있다.

건식법의 장점으로는 공정의 단순화, 차폐공간의 소규모화, 고체 폐기물 발생 및 그 발생량의 극소화, 책임계 관리의 편의성 등을 꼽을 수 있다. 단점으로는 습식법만큼 기술발달이 이룩되지 못하였으며 고온 공정의 요구에 의한 운전 및 유지보수상의 어려움, 제염성의 낙후에 의한 회수된 우라늄 및 플루토늄의 핵연료 가공상의 난점 등이 있다.

여러 형태의 건식법중 대표적인 공정이라 할 수 있는 불화물 휘발공정과 고온 야금공정에 대해서 언급하기로 하나.

### 6.2.2.1. 불화물 휘발공정

UF<sub>6</sub>의 승화점은 대기압 하에서 56.4°C이고 삼중점은 22psia, 64°C로서 대기압하의 상온에서는 비교적 안정된 화합물이다. 대부분의 핵분열 생성물질과 불소와의 반응에 의해 생성되는 불화물은 비휘발성이며 이러한 성질을 이용하여 사용 후 핵연료를 불화물로 변화시키고 우라늄 및 플루토늄 불화물과 핵분열 생성물질 불화물을 흡착법이나 증류법을 이용하여 핵분열 생성물질로부터 우라늄 및 플루토늄을 분리 회수한다. 불화물 휘발 공정도는 그림 6.2와 같다.

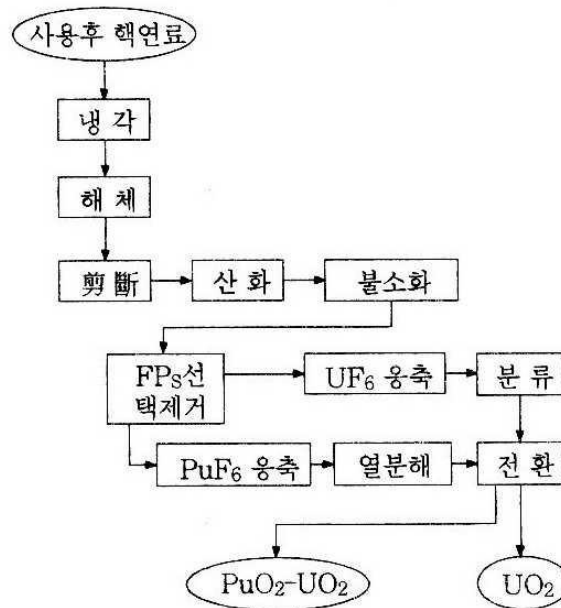
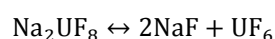


그림 6.2 불화물 휘발 공정 개념도

흡착법에 의한 UF<sub>6</sub>정제: Sodium fluoride 펠릿이 충전된 탑에 UF<sub>6</sub>기체를 통과시키면 다음의 가역반응에 의해 흡착 및 탈착 반응이 일어난다.



본 반응에서 그 가역성은 온도와 압력에 의해 결정되고 조업 온도범위를 80-360°C로 했을 때 탈착압력은 다음의 관계식으로 나타난다.

$$\log P = 10.88 - \frac{5090}{T}$$

P: mmHg

T: K

Sodium fluoride에 대한 UF<sub>6</sub>의 흡착속도는 Sodium fluoride 펠릿 주위에 형성되는 기체경막의 두께와 펠릿 기공율에 지배를 받는다.

ORNL에서 행한 흡착법에 의한 UF<sub>6</sub> 정제 공정도에는 Sodium fluoride 충전탑이 모두 3개로 구성되어 있다. 첫째 탑에서는 400°C의 분위기에서 불화물 기체들을 통과시켜 비밀동반에 의해 달려 나가는 미세입자 및 Zirconium tetrafluoride, Chromium fluoride를 펠릿에 흡착시키고 여기에서 배출되는 UF<sub>6</sub> 기체는 100°C를 유지하는 두 번째 탑에서 흡수된다. 펠릿에 UF<sub>6</sub>가 포화상태로 흡착되면 흡착탑 온도를 400°C까지 가열하여 탈착을 시키고 탈착된 UF<sub>6</sub>의 기체를 세 번째 탑으로 보낸다. 이 세 번째 탑의 기능은 거의 미약한 상태로서 공정의 단순화를 위해 생략되기도 한다.

한편 세 번째 탑에서 배출되는 UF<sub>6</sub> 기체 내에는 Neptunium fluoride와 Technetium fluoride가 제 1, 2탑에서 분리되지 않고 계속해서 존재하기 때문에 이를 제거하기 위해 125°C를 유지하는 MgF<sub>2</sub> 충전탑을 통과시켜야 한다. ORNL에서 행한 본 방법에서 우라늄 회수율은 99.5%이상이고 제염계수는 10<sup>8</sup>을 나타냈다.

증류법에 의한 UF<sub>6</sub> 정제: 증류법에 의한 UF<sub>6</sub> 정제와 우라늄 및 플루토늄의 상호 분리가 ANL과 BNL에서 수행된 바 있다. 이 방법에 있어서 우라늄과 플루토늄의 불화물 형성은 Bromine trifluoride와 Bromine pentafluoride에 의해서 이룩된다. ANL 공정은 회분식 증류기로 구성되어 있으며 일단계 증류물질은 과잉으로 들어간 BrF<sub>5</sub>와 휘발성 불순물들로 탑상부에서 우선 배출되고 이 단계로 UF<sub>6</sub>가 증류된다. 이 방법에 의한 제염계수는 10<sup>8</sup>이상이다.

우라늄 및 플루토늄이 공존하는 계에 있어서 불화물 형성을 위한 장치로는 유동층 반응기가 이용된다. 유동층 반응기는 크게 두 지역으로 구분되는데 탑하단에는 UO<sub>2</sub> 펠릿과 구형 니켈고체가 충전되고 탑상부에서는 입상형 알루미나 분말의 유동화가 일어난다. 알루미나 분말의 유동화는 우라늄의 불화물을 형성시키기 위해서 첫 단계로 10v/o F<sub>2</sub>-5v/o O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> 혼합기체에 의해 450°C의 온도에서 2시간 동안 이룩되며 두 번째 단계로 플루토늄의 불화물 형성을 위해 75v/o F<sub>2</sub>-5v/o O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> 혼합기체로 550°C의 온도조건에서 5시간 동안 유동화를 시킨다. 여기서 알루미나 분말의 기능은 단지 유동층 반응기 내부의 온도분포를 균일화시키는데 목적이 있다.

상기의 방법에 의해 우라늄과 플루토늄의 불화물형성이 끝나면 상호분리 공정을 거치게 되는데 여기에서는 형성된 PuF<sub>6</sub> 기체가 PuF<sub>4</sub>로 280°C의 온도에서 1시간 동안 열분해 반응이 일어나 우라늄 불화물로부터 플루토늄 불화물이 분리된다.

#### 6.2.2.2. 고온 야금공정

고온 야금공정의 원리는 용광로를 이용한 금속제련 공정과 비슷한 공정으로 정제 메커니즘에 따라 고온에서 용융된 금속 용융 용매에 의한 용매추출과 용융결정화에 의한 분리정제 등이 있으나 현재까지 그 기술개발의 미진함에 의한 연속 공정의 결핍 및 낮은 제염성 등으로 본 방법에

의한 사용 후 핵연료 재처리가 실용화 단계에는 도달하지 못하고 있고 개념연구단계나 소규모의 파일럿시험에 그치고 있다.

용매추출: 고온 야금공정에서 이용되는 용매추출은 사용후핵연료에 추출용매로 이용될 은, 마그네슘, 카드뮴 등을 혼합시켜 가열한다. 이때 모든 고체금속 물질들은 모두 용융이 되고, 응용된 추출용매에는 핵분열 생성물질이 추출되고 우라늄은 추출되지 않은 상태에서 핵분열 생성물질로부터 우라늄이 분리 정제 된다.

이러한 용융 온도를 1135°C로 했을 때 우라늄 용융체내의 은의 용해도는 0.03%에 지나지 않고 은 용융체내의 우라늄 용해도는 4%에 지나지 않으며 은 용융체내로 지르코늄, 희토류 원소, 알칼리 및 알카리토 금속들이 추출된다. 추출용매로 사용된 은의 회수를 위하여 과잉의 NaCl과 AgCl의 첨가에 의해 재용융시킴으로써 불순물로부터 은을 회수시켜 재사용할 수 있다.

분별 결정화에 의한 분리정제: 분별 결정화에 의한 분리정제는 사용 후 핵연료내의 우라늄이나 플루토늄 등과 같은 유기물질이 저온 용융성 금속물질과 합금체를 이루어 결정화가 되면서 핵분열 생성물질로부터 분리되는 원리를 이용한 것으로, 우라늄의 아연 혹은 아연-마그네슘 합금내의 용해도는 표 6. 2와 같다.

표 6. 2 아연 혹은 아연-마그네슘 합금 내 우라늄 용해도

온 도 °C	용 해 도 wt. %		
	Pure Zn	Zn-3 wt. % Mg	Zn-46.5 wt. % Mg
500	0.015	0.019	0.060
550	0.056	0.062	0.077
600	0.180	0.181	0.10
650	0.508	0.48	0.12
700	1.25	1.06	0.15
750	2.90	2.40	0.18
800	6.5	4.8	0.22

EBR-II 공정: EBR-II 공정은 고온 전해야금공정을 이용한 대표적인 재처리 공정으로서 그림 6.3과 같이 구성되어 있다.



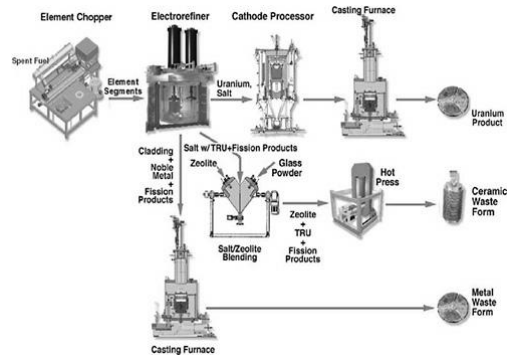


그림 6.3 EBR-II pyroprocessing 공정도

금속 연료를 고온 용융염 전해정련 장치에 도입시켜 우라늄을 먼저 분리한 후 액체 음극을 사용하여 플루토늄과 악티나이드들을 분열 생성물로부터 분리시킨다. 분리된 우라늄은 고온 용융염에서 용융시켜 금속 덩어리 형태로 제조하고 분열 생성물이 잔류하고 있는 용융염은 지올라이트 칼럼을 통과 시켜 분열 생성물을 분리하여 용융염을 정제하고 분열 생성물을 포함한 지올라이트는 압축하여 세라믹 폐기물로 가공한다. 귀금속 계열 분열 생성물과 금속 피복관 등은 금속 폐기물로 배출한다.

고온 용융염 전해야금 공정은 EBR-II와 같이 금속 연료를 사용하는 공정과 잘 어울리는 데 이는 높은 발열과 방사능에 안정적인 용융염을 매질로 사용하기 때문이며 수용액과 접촉시 격렬히 반응하는 금속 연료의 특성상 불가피한 측면 또한 존재한다.