

연구로 해체시 발생하는 알루미늄 및 탄소강 폐기물의  
제염특성 연구

A Study on the Decontamination Characteristics of Aluminum and  
Carbon Steel Produced from the Decommissioning of KRR-1&2

박미옥, 이해일, 이동규, 정경환, 이근우 정기정, 박진호  
한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

연구로 해체 작업에서 발생하는 알루미늄과 탄소강 폐기물의 제염을 위하여 Oxalic acid를 사용하여 화학침수 실험과 초음파 실험을 실시하였다. Oxalic acid의 농도와 침수시간, 온도, 초음파 처리 시간에 따른 제염효과를 비교하였다. 화학침수 실험 결과 알루미늄과 탄소강 모두 oxalic acid의 농도와 온도가 높고 침수 시간이 길수록 제염이 잘 되었으며, 화학침수제염만 했을 때보다 화학침수 제염 후 초음파를 부가했을 때 제염효과가 최고 100배 상승되었다. 알루미늄과 탄소강의 제염효과를 비교해 보면 부식이 많이 된 탄소강이 알루미늄에 비해 제염의 효과가 적었다. 이는 알루미늄의 산화막은 용해가 잘되나 탄소강의 부식질은 용해가 어렵기 때문이다.

Abstract

Aluminum and carbon steel wastes are occurred in nuclear facilities decommissioning. they were decontaminated using oxalic acid and ultrasonic. In this study, decontamination effect is investigated in different concentration of oxalic acid solution, reaction time, reaction temperature, ultrasonic time. It was found that the decontamination effect rose with increase concentration of oxalic acid solution, reaction time, reaction temperature. decontamination effect rose 100 times when chemical decontamination are conducted with ultrasonic decontamination. Decontamination effect of aluminum go better than that of carbon steel because carbon steel is covered with corrosion. Oxide film of aluminum easier dissolve than corrosion of carbon steel.

## 1. 서론

원자력 산업에서 시설 자체 및 내부 기기 등은 필연적으로 방사성 물질로 오염된다. 이들 오염은 시설 및 기기의 재질과 방사성 공정 물질과의 화학적 반응에 의해 발생하기도 하지만 상당부분은 방사성 입자의 박막 침적에 의해 발생된다. 국내 최초의 원자력 산업 시설인 서울 공릉동의 연구용 원자로 1, 2호기는 최근 수명을 다하여 해체 작업에 들어갔다. 여기서 발생하는 방사성 폐기물은 대부분 고체이며, 이러한 폐기물의 대부분은 방사성 준위는 낮지만 물리·화학적, 방사능학적 특성이 다양하여 폐기물의 특성별로 적절한 처리가 요구된다.[1] 방사성 폐기물 처분지가 부족한 현실에서 방사성 폐기물의 제염으로 금속을 재활용하고 규제해제폐기물화하여 방사성 폐기물의 발생량을 최소화할 필요가 있다. 이를 위해서는 오염 금속을 처리하여 방출기준까지 방사능을 제거하는 제염 기술이 중요하다. 방사성 폐기물은 방사성 핵종들이 표면에 붙어 있거나, 산화층 내에 존재하는 경우가 많아 표면층과 산화층의 제거로 핵종들을 대부분 제거할 수 있다.[2]

그러나, 해체 작업에서 발생하는 금속 폐기물의 경우 오염 후 많은 시간이 경과하여 핵종들이 표면의 미세한 구멍이나 틈에 침착되거나 표면과 화학반응을 일으켜 핵종의 탈착이 쉽지 않다. 핵종의 탈착이 쉽지 않은 가장 큰 이유는 부식이다. 알루미늄과 탄소강의 부식특성을 살펴보면 먼저 알루미늄의 경우 표면이 매끄러우며 얇은 회색을 띄고 있는데 공기에 노출되면 곧 표면에 매우 단단하고 투명한 내식성의 얇은 산화피막( $Al_2O_3$ )이 형성된다. 이 산화피막은 공기 중에서 그리고 pH 4 ~ 8.5 영역의 중성 용액에서 안정하며, 아주 조밀하여 공기와 물이 스며들 수 없게 된다. 즉, 표면의 녹이 내부로 진행되는 것을 막아준다. 이에 반해 탄소강의 표면에 생기는 산화철 막은 엉성해서 공기 중의 산소와 수분의 침투를 막지 못할 뿐 아니라 표면으로부터 쉽게 떨어져 나온다. 탄소강의 녹은  $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ 가 주성분으로 철은 공기 중의 이산화탄소와 수분에 의해서 먼저 탄산철( $FeCO_3$ )이 되고, 이것이 수분과 산소에 의해서 분해 되어 적갈색의 산화철(III) 수화물이 된다. 철을 고온에서 산화시켰을 때에 검은색의 단단한 산화 피막이 생기는데 이것도 녹의 일종이다. 녹은 시간이 경과함에 따라 내부로 진행하여 스케일의 두께가 점점 증가된다.

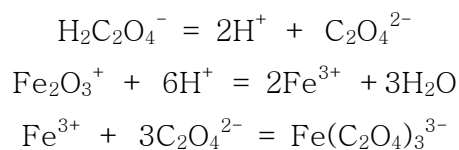
일반적으로 알루미늄과 탄소강의 표면제염에 대한 연구는 많이 행해져 왔다. 화학제염의 경우 탄소강에는 Nitric acid, Sulphuric acid 등이 알루미늄에는 Oxalic acid 등이 효과적인 것으로 알려져 있다. 이외에도 오염표면에 고분자막을 입힌 후 오염물질을 고분자와 함께 제거하는 기술인 Strippable coating법이 금속표면의 산화막 제거에 이용된다[1]. 그러나 위의 제염 방법들이 부식이 많이 진행된 금속에서도 효과적인 지는 미지수이다.

Oxalic acid는 페인트, 니스, 부식질 등의 용해에 탁월한 성능을 가지고 있으며 금속과 만나 산성 하에서 녹은 옥살염 착물을 형성한다(Table.1).[3-6] 이런 옥살산의 특징에 대한 많은 연구가 행해지고 있는데 그 중 산업적으로 널리 사용되는 철과 옥살산의 반응 메카니즘에 대한 연구가 활발하다.

Table. 1 Several common metal oxalate complexes

Oxalate compound	Color	Solubility in(mg/ℓ)	
		Cold water	Hot water
Al <sub>2</sub> (C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> □4H <sub>2</sub> O	white	insoluble	insoluble
CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	colorless	0.00067	0.0014
CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> □H <sub>2</sub> O	colorless	insoluble	insoluble
CuC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> □1/2H <sub>2</sub> O	bluish white	0.00253	...
FeC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> □2H <sub>2</sub> O	pale yellow	0.022	0.026
Fe(C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> □5H <sub>2</sub> O	yellow	very soluble	very soluble
PbC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	white	0.00016	...
ZnC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> □2H <sub>2</sub> O	white	0.00079	...

지금까지 밝혀진 Oxalic acid에 의한 산화철의 용해원리를 살펴보면 다음과 같다.



옥살산이 용해되면서 H<sup>+</sup>, C<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup> 로 이온화된다. 옥살산과 접촉하게 되는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 수소 이온에 의해 산소와의 결합이 떨어지게 되고, 옥살산염에 의해 착화물을 형성하게 된다. 즉, 수소 이온과 옥살산염의 복합작용으로 산화철이 용해가 되는 것이다. 최근 Panias의 연구에 의하면 산화철의 용해과정 단계에 대해서 규명이 되어졌다.[7-9] 옥살산의 산화철 용해에 있어서 옥살산염은 착화물, 환원제 역할을 하며, 수소 이온과 옥살산염 둘 다 용해에 직접적인 영향을 미친다. 산화철 용해의 3단계를 살펴보면 다음과 같다. 첫 번째 유기 리간드가 산화철 표면으로 흡착되며, 이때의 흡착은 화학적 흡착이다. 두 번째 비 환원 용해는 단순한 철 표면에서 철과 리간드 착화물의 탈착을 뜻한다. 이때 높은 반응에너지가 필요한데, 이런 이유로 높은 온도에서 반응이 일어난다. 이 단계가 전체 반응 속도를 좌우하므로 용해 반응에서 두 번째 단계가 중요하다. 즉, 옥살산의 반응속도를 빠르게 하기 위해서는 온도를 일정수준(70℃)이상으로 유지하여야 한다. 마지막으로 단계는 환원적 용해의 과정이다. 마지막의 환원적 용해는 두 단계로 나뉘어 지는데, 유발단계와 자동 촉매 반응이며, 이 단계에서 옥살염착물이 완전히 용해가 된다.

부식의 제거에 있어서는 화학적 제염으로 불완전하기 때문에 제염의 효율을 높이기 위하여 기계적 에너지를 제염 대상물에 전달할 필요가 있는데 현재 가장 효과적인 것이 초음파 이다.[10] 가청 주파수 이상의 음파로 수중의 매질을 진동시키

며, 음압의 변화로 캐비테이션을 발생시켜 이물을 박리, 제거하는 초음파제염은 캐비테이션의 파괴로 인하여 발생하는 수십 기압의 압력으로 좁은 틈에 끼어 있는 미세한 오염물을 빠르게 분산시키며 분산된 오염물은 다시 핵으로 작용하여 더 많은 캐비테이션을 만들어낸다.[11] 이런 연쇄적인 작용 때문에 초음파 제염은 제염효과에 가능성을 보여준다.

해체 방사성 폐기물의 안전한 처리를 위한 공정개발이 매우 필요한 시점에서 현재까지 많은 연구를 통해 방사성 폐기물의 제염방법들이 나왔으나, 실제 현장에서 발생하는 방사성 폐기물에 직접 적용된 예는 드물었으며, 단순히 화학약품만을 이용한 제염이 대부분 이었다. 더군다나, 화학약품에 있어서도 제염효과를 높이기 위하여 대부분 sulphuric acid, nitric acid 등의 강산을 사용하여 제염 후 2차 폐기물의 처리를 어렵게 하고 있는 실정이다. 실제 폐기물에 적용할 수 있으며, 환경에 위해한 부산물 생산을 최소화 할 수 있는 방법을 연구하면서 약산이지만 부식질 제거에 탁월한 oxalic acid가 제염제로 가능성이 있음을 직시하였다. 이리하여 본 실험에서는 부식질 제거에 탁월한 성능을 가졌으며, 핵분열 산물에 대한 효과적인 착화물제이며, 약산이라 2차 부산물의 처리가 용이한 옥살산을 이용해 수십 년간 방사능에 오염 되어온 알루미늄과 탄소강 폐기물의 제염을 시행해 보았다. 약산의 단점인 낮은 제염효과를 극복하기 위하여 옥살산의 농도, 반응온도, 반응시간을 변화시키면서 제염 효과를 높일 수 있는 조건을 살펴보았으며, 더 효율적인 제염을 위하여 초음파를 추가하여 제염의 효과를 높여 보았다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1 실험재료

알루미늄 재질의 원자로 연료봉 지지대와 탄소강 재질의 폐기물을 3×3(cm)의 크기로 잘라서 시편을 준비하였다. 알루미늄의 경우 표면부식이 없으나, 탄소강의 경우 부식이 많이 된 상태였다. Fig.1과 Fig.2는 실험에 사용된 시편의 모습을 나타낸 것이다. 제염제로써 Oxalic acid( $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ , 99%)를 희석하여 사용하였으며, 초음파 발생기는 Branson5510제품으로 9ℓ용량이며, 주파수는 42kHz 이다. 화학 침수 제염시 제염제와 시편과의 반응 접촉을 원화하게 하기 위하여 교반을 하였다. 시편의 방사능 오염도는 저준위 방사능 측정장치(OXFORD, Tennelec series 5 XLB)를 이용하여 1분당  $\beta$ -counting number를 측정하여 구하였다.

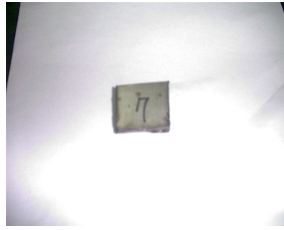


Fig. 1 Aluminum sample



Fig. 2 Carbon steel sample

## 2.2 실험방법

제염실험은 농도 변화 실험, 침수시간 변화 실험, 온도 변화 실험, 초음파 시간 변화 실험의 순서로 진행하였다. 농도 변화 실험의 경우 1 l 용량의 비이커에 시편이 잠길 정도의 Oxalic acid 용액을 넣고 온도를 70℃에 맞춰 교반을 하였다. 1시간동안 반응을 시킨 후 증류수로 세척하고 건조시킨다. 이와 같은 방법으로 농도를 변화 시키면서 실험을 수행하여 최적의 농도를 결정하였다. 다음으로 침수시간 변화 실험에서는 앞의 농도변화 실험에서 결정된 최적의 농도와 70℃의 온도에서 침수 시간을 변화시키면서 실험하였다. 온도변화 실험에서는 앞선 실험에서 얻어진 최적의 농도와 침수시간에서 온도를 변화시키면서 동일하게 실험하였다. 마지막으로 초음파 실험에서는 초음파 세척기의 작동 수위에 맞게 1l의 비이커에 옥살산을 900 ml 담아 70℃로 온도를 맞추고 앞의 실험들에서 얻어진 농도, 침수시간, 온도의 조건으로 제염된 시편을 넣고 초음파 시간을 변화시키면서 실험하였다. Table. 2에 실험 조건을 나타내었다. 제염 효과는 제염전과 제염후의  $\beta$ -counting number 비(DF)를 산출하여 비교하였다.

Table. 2 Condition of experiment

Sample	Chemical solution	Conc.(wt%)	Reaction time(min)	Temp.(℃)	Ultrasonic time(min)
Al	Oxalic acid	2~14	10~180	30~70	0.5~4
Carbon Steel		2~15	20~120	10~80	1~4

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 옥살산 농도의 영향

3.1.1 알루미늄 : 70℃에서 1시간동안 교반하면서 옥살산과 반응을 시킨 후 제염효과를 살펴보았다. Fig. 3에서 보면 알루미늄은 옥살산의 농도가 2%에서 14%

로 증가할수록 제염효과가 좋아짐을 볼 수 있다. 2%의 옥살산에서는 초기 방사능 값이 475 cpm에서 24.3 cpm으로 감소하였고, 14%에서는 780 cpm에서 ND까지로 감소하였다. 이는 옥살산의 농도가 증가할수록 알루미늄 표면 산화막의 침식도 깊어져 표면과 산화막에 존재하는 핵종들이 표면침식과 함께 떨어져 나가므로 농도가 증가할수록 제염이 잘 되는 경향을 나타내는 것으로 판단된다.

3.1.2 탄소강 : Fig.4에 80℃에서 1시간동안 침수 시켜 제염 실험한 결과를 나타내었는데, 옥살산의 농도가 증가하여도 제염효과는 큰 증가를 보이지 않았다. 2%에서 방사능 값은 1340cpm이 62.5cpm으로 감소하였고, 5%에서는 1050 cpm에서 29.6의 감소를 보였다. 그런데, 14%에서는 1050 cpm에서 33.6 cpm으로 오히려 5%보다 제염효과가 감소하였다.

이론에 의하면 옥살산의 농도가 증가하면 옥살산염과 수소이온이 증가하여 산화철의 용해를 증가시킨다고 하나, 산화철의 종류에 따라 용해정도가 달라진다.[10,11] 여러 종류의 산화철 중에서  $\alpha$ -FeO(OH),  $\gamma$ -FeO(OH)처럼 용해가 쉬운 것이 있는 반면 hematite( $Fe_2O_3$ )같은 산화철은 용해가 쉽지 않다. 즉, 부식질의 구성이 어떤 것이냐에 따라 옥살산의 농도영향을 잘 받느냐가 결정되는데, 본 실험에 사용된 탄소강의 표면은 붉은 색의 hematite( $Fe_2O_3$ )가 주가 되어 15%이하의 농도에서는 옥살산 농도의 영향을 크게 받지 않은 것으로 판단된다. 실제 hematite의 활성화 에너지는 150 kJ인데 반해 다른 산화철은 59 kJ로 hematite를 용해시키는 것이 훨씬 어렵다.

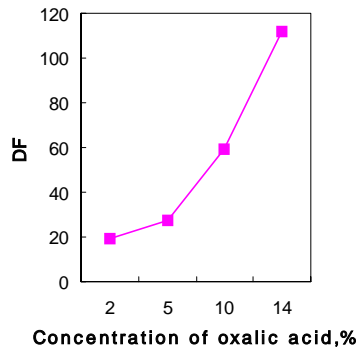


Fig.3 Decontamination effect on concentration of oxalic acid at Al

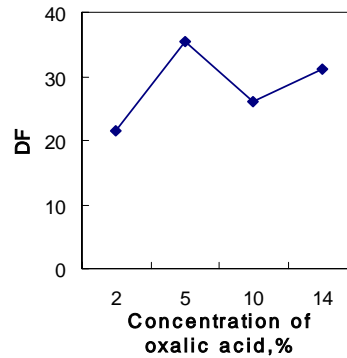


Fig.4 Decontamination effect on concentration of oxalic acid at CS

### 3.2 침수 시간에 따른 영향

3.2.1 알루미늄 : 5%, 70℃의 옥살산에 침수 시간을 달리하여 실험한 결과를 Table 3.에 나타내었다. 10분간 침수 시켰을 때 44.7 cpm에서 ND로 감소하였으

며, 제염계수가 가장 큰 60분에서는 23000 cpm에서 ND까지 감소되었다. 그런데, 180분간 침수 시켰을 때에는 3080 cpm에서 9.4 cpm이 나왔다. 제염계수의 비교에서는 60분보다 제염효과가 떨어진 것으로 보이는데, 이는 실험과정에서 180분간 반응시킨 시편을 세척 했을 때 부주의로 인한 재 부착에 의한 오염이 발생했을 가능성이 있다. 또한 각시편의 오염물 고착 정도 차이에 의해 위와 같은 결과가 나타난 것일 수도 있다. 그러나 전체적으로 옥살산과 반응하는 시간을 길게 할수록 제염효과가 상승되는 경향을 보였으며 이는 침수시간이 길수록 옥살염과 수소의 영향을 더 많이 받아 옥살염착물량이 많아지기 때문으로 판단된다.

3.2.2 탄소강 :Table 4.에 5%, 80℃에서 반응시간을 달리한 탄소강의 제염 결과를 나타내었다. 20분간 침수 시켰을 때 1510 cpm에서 197 cpm으로 감소하였는데, 120분간 침수 했을 때는 948 cpm에서 33.6 cpm으로 감소하였다. 초기 오염 농도에 따라 DF값의 차이가 있으나 제염후의 오염도를 살펴보면 120분간 침수했을 때가 오염이 가장 많이 감소되었다. 부식이 많이 된 탄소강도 옥살산과의 반응시간을 길게 하면 표면의 부식질과 옥살염의 반응이 증가하여 용해가 더 잘 일어난다는 것을 알 수 있다.

Table 3. Decontamination factor with reaction time at Al

Reaction time(min)	Before decontamination	After decontamination	DF
10	44.7 cpm	6.98 cpm	6.4
30	8830 cpm	59.9 cpm	147.41
60	23000 cpm	6.98 cpm	3295.13
180	3080 cpm	9.44 cpm	326.27

Table 4. Decontamination factor with reaction time at CS

Reaction time(min)	Before decontamination	After decontamination	DF
20	1510 cpm	197 cpm	7.66
40	1100 cpm	128 cpm	8.59
60	1060 cpm	29.6 cpm	35.81
90	1290 cpm	30.6 cpm	42.16
120	948 cpm	33.6 cpm	28.21

### 3.3 온도에 따른 영향

3.3.1 알루미늄 : 5%의 옥살산을 30℃에서 70℃로 온도를 변화시키면서 1시간 동안 반응시킨 후 제염효과를 비교하였다. Fig. 5에서 보면 30, 50℃에서 보다 7

0℃에서 제염효과가 월등히 높음을 알 수 있겠다. 30℃에서 417 cpm이 143 cpm으로 50℃에서 22000 cpm에서 9482 cpm으로 감소 된 것이 70℃에서는 23000 cpm에서 761 cpm까지 감소되었다. 이는 낮은 온도에서는 옥살산의 이온화가 적기 때문에 옥살산의 착물형성이 적어서 금속의 표면 침식이 잘 안되는 반면 온도가 높아질수록 옥살산이 용해되는 속도가 빨라지며, 이온화된 옥살염과 수소이온은 알루미늄의 표면침식을 빠르게 하기 때문이다.

3.3.2 탄소강 : Fig.6에서 5%의 옥살산을 30℃에서 80℃로 온도를 변화시키면서 침수시간을 1시간으로 하여 실험한 결과를 보여준다. 30℃에서 181 cpm에서 93.4 cpm으로 감소되었는데, 80℃에서는 182 cpm에서 14.7 cpm으로 감소하였다. 초기 오염도가 비슷한 상태에서 80℃에서 반응시킨 결과 30℃에 비해서 제염 후 값이 거의 7배나 감소함을 알 수 있었다. 이는 온도가 높아지면 옥살산의 산화철 용해 반응 중 비 환원 단계에서 외부로부터 열에너지를 많이 얻어 비 환원 반응 속도가 빨라지게 되고 결과적으로 전체 반응속도가 증가하게 되어 용해 반응이 빨라지게 되기 때문이다.

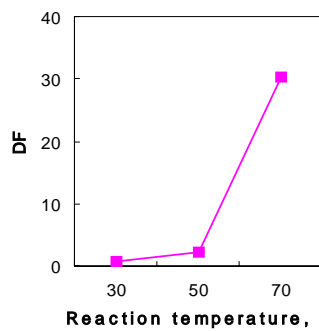


Fig.5 Decontamination effect on reaction temperature at Al

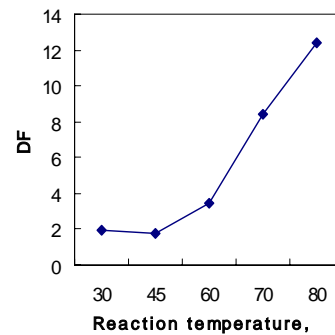


Fig.6 Decontamination effect on reaction temperature at CS

### 3.4 초음파가 제염에 미치는 영향

3.4.1 알루미늄 : 5%의 옥살산을 70℃로 하여 1시간 침수시킨 시편에 5% 옥살산을 50℃에서 초음파가 부가되었을 때의 효과를 살펴보았다. Fig. 7는 초음파에 의한 제염효과를 보여준다. 초음파 시간이 0일 때의 값은 화학 침수 제염만 행한 결과이며, 초음파 시간을 길게 할수록 제염효과가 향상됨을 알 수 있다. 화학제염만 했을 때는 717 cpm에서 359 cpm으로 감소한 반면 화학 제염 후 초음파를 4분간 켜었을 때 717 cpm에서 ND로 감소하였다. 이렇게 알루미늄이 초음파의 영향을 크게 받는 것은 화학제염으로 표면이 불려진 상태에서 초음파의 진동과 케비테이션



에 의해 불려진 표면이 쉽게 떨어지기 때문이다.

3.4.2 탄소강 : 5%에서 80℃로 옥살산에 1시간 침수시킨 시편을 70℃에서 초음파를 쏘여 부식에 초음파가 미치는 영향을 살펴보았다. Fig. 8에 제염효과에 대한 그림을 나타내었다. 화학제염만 했을 때는 14500 cpm에서 8060 cpm으로 감소되었는데 반해 화학 제염 후 4분간 초음파를 쏘일 경우 16600 cpm에서 841 cpm으로 감소하였다. 화학제염에서 부식질의 불림이 있었으나 산화철을 표면에서 떼어낼 만큼 초음파의 물리적 힘이 크지 않았기 때문에 제염효과 상승이 크지 않은 것으로 보인다. 실험결과 화학 침수 제염만 했을 때 보다 화학침수 제염 후 초음파를 쏘었을 때 제염 능력이 향상되는 것으로 나타났다.

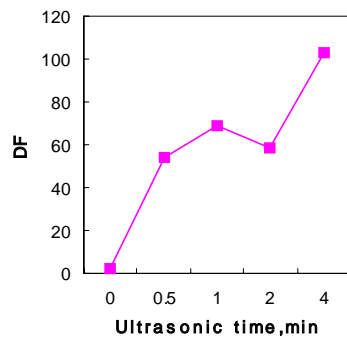


Fig.7 Decontamination effect on ultrasonic time at Al

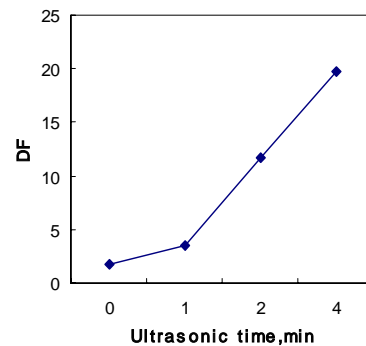


Fig.8 Decontamination effect on ultrasonic time at CS

#### 4. 결론

원자로 해체 작업에서 발생하는 알루미늄과 탄소강의 방사성 폐기물을 제염하기 위하여 옥살산을 이용한 화학제염과 초음파 제염실험을 수행하였다. 부식 산화물의 용해에 효과적인 것으로 알려진 옥살산의 화학 침수 실험 결과 알루미늄은 5%의 농도에서 80℃에서 1시간 화학제염 후 4분간 초음파를 쏘여 ND 값, 즉 규제치 이하의 폐기물 수준으로 처리할 수 있었다. 표면 부식이 심한 탄소강은 제염전 1060 cpm인 것이, 5%의 옥살산으로 80℃에서 1시간 화학제염 후 4분간 초음파를 쏘여 408 cpm을 얻었다. 탄소강은 경우 화학 제염후 초음파 시간을 4분 이상으로 하면 408 cpm보다 낮은 방사능준위를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

본 실험으로 알루미늄과 탄소강의 제염에 옥살산이 효과적인 제염제임을 확인할 수 있었으며, 여기에 초음파를 더할 경우 더욱 높은 제염효과를 얻을 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

## 참고문헌

1. 박진호 외, “원자력시설 제염해체사업”, KAERI/RR-2304/2002, 2002
2. Karlsruhe nuclear research center , Mechanical and chemical decontamination of surfaces, IAEA, 1982.
3. Peter M. Woyciesjes. The chemistry of oxalic acid cleaning of engine cooling system, ASTM special technical publication, v.1192, 1993, pp.190-204.
4. sung-ohn Lee, et al. Dissolution of iron oxide rust materials using oxalic acid, 資源 と 素材, v.115, 1999, pp.815-819.
5. Singh, M. M., Gupta, A., Corrosion characteristics of some aluminium alloys in oxalic acid, Indian journal of chemical technology, v.3, no.1, 1996, pp.32-36.
6. Figueroa, C. A. et al., Dissolution of nickel oxide in oxalic acid aqueous solutions, Journal of colloid and interface science, v.244, no.2, 2001, pp.353-358.
7. D. Panias, M. Taxiarchou, et al. Mechanism of dissolution of iron oxides in aqueous oxalic acid solutions, Hydrometallurgy, v.42, 1996, pp.257-265.
8. Gorichev, I.G., Kipriyanov, N.A., Regular kinetic features of the dissolution metal oxides in acidic media. Russ. Chem. Rev., v.53, no.11, 1984, pp.1039-1061.
9. Valverde, N., Wagner, C., Considerations on the kinetics and the mechanism of the dissolution of metal oxides in acidic solutions. Ber. Bunsenges. Phys. Chem., v.80, no.4, 1976, pp.330-333.
10. Weels, H., Radioactive decontamination by ultrasonics, Ultrasonics, v.4, no.1, pp.29-34.
11. L. D. Rozenberg, Physical principles of ultrasonic technology, Ultrasonic technology, Plenum press, v.1, 1973.