

# 초임계수산화(SCWO) 프로세스와 재료



김 현 수

동북공업기술연구소(일본)

(일본)동북공업기술연구소 환경재료연구실 과학기술특별연구원



노 병 호

(KIMM 재료공정연구부)

- '78 인하공대 화학공학과(학사)
- '78 - '83 한국과학기술연구소 연구원
- '84 - 현재 한국기계연구원 표면공학실 책임연구원
- '93 - 현재 UNEP Metal Finishing Working Group회원
- '97 - 현재 한국청정기술학회 이사

## 1. 서 론

초임계수산화(SCWO, Supercritical Water Oxidation)는 1980년대 초반부터 연구개발이 활발하게 진행되어 온 유해폐기물의 처리기술이다. 이 기술은 Hydrothermal Waste Process(또는 Hydrothermal Destruction Process)이라고도 하며, 민간용의 유기 유해폐기물 뿐만아니라 군용의 화학가스, 폭탄, 방사능 오염 물질과 같은 폐기물들을 분해 및 클린업(Clean-up)할 수 있는 프로세스이다.<sup>[1]-[3]</sup> 이는 물의 초임계상태에서의 독특한 용해특성을 이용하여 유기 유해폐기물, 특히 종래의 방법으로는 처리가 어려운 저농도의 수용액을 처리할 수 있는 획기적인 기술로서, 종래의 매립이나 소각과 같은 방법의 한계를 넘을 수 있어서 주목을 받고 있다. 현재, 미국, 일본, 독일 등과 같은 선진제국에서는 초임계수산화 프로세스를 이용한 유기물의 분해에 관한 연구가 활발하게 진행중이며, 시험설비의 도입도 점차 확대되고 있어서, 동프로세스 관련의 데이터베이스의 축적이 착실하게 이루어지고 있다. 그러나, 궁극적으로 상업용 초임계수산화프로세스의 도입과 가동까지는 기술적 및 안전상으로 해결해야할 과제가 산적해 있는 것이 현실이며, 그중에서도 반응로에 사용가능한 내식재료의 개발이 급선무인 것으로 지적되고 있다.

본고에서는 이와같은 초임계수산화의 원리와 프로세스, 각국의 동향, 재료문제, 향후전망 등에 기술하고자 한다.

## 2. 초임계수산화

초임계수산화라는 것은 물의 임계점(374°C,

22.4MPa)이상의 조건에서의 유기물의 산화반응을 말한다.<sup>[1]-[3], [4]</sup> 초임계상태에서 물은 액체와 가스의 중간 성질을 나타내는 유체로써 독특한 성질을 갖는다. 그림 1은 초임계수의 몇가지 중요한 성질을 나타내는 것이다. 예를 들면, 물의 밀도는 액체상태에서 약  $1\text{g/cm}^3$ 이지만 초임계상태에서는 약  $0.1/\text{cm}^3$  이하로 급격하게 감소한다. 유전율은 실온에서 80정도이지만, 임계영역 근처에서는 5~10, 450°C에서는 1~2정도로 감소한다. 물의 해리상수는  $10^{-14}$ 에서 초임계상태에서는  $10^{-23}$ 으로 변화한다. 또한, Raman Spectroscopy분석 결과에 의하면, 초임계상태에서는 수소결합이 소멸되는 것으로 보고되고 있다. 이와 같은 결과, 초임계수는 무극성의 유기용매와 같은 거동을 하여, 벤젠과 같은 유기물이나 산소, 질소, 이산화탄소 등의 기체에 대하여 완전한 용해성을 나타낸다. 한편, 초임계수에서의 무기질염의 용해도는 급격하게 감소한다. 예를들면, 염화칼슘( $\text{CaCl}_2$ )은 아임계온도에서 최대 70wt%의 용해도를 나타내나,

초임계상태에서는 약 3ppm으로 급격하게 감소한다. 또한, 산소는 동일한 균일상에 포함될 수 있고 다루기 곤란한 무기염은 혼합물로부터 침전되기 때문에, 초임계수는 유기물의 산화를 위한 가장 이상적인 매개체가 된다.

이와 같은 뛰어난 용해특성을 갖고 있는 초임계수산화를 이용하면  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ 와 같은 간단한 물질에서 부터,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ , 염화메틸이나 프론 등의 범용 공업약품 뿐만아니라, PCBs나 다이옥신 등의 유해폐기물, 특히 종래의 방법으로는 처리가 어려운 유기물을 99.9999%의 분해효율로 안전한 물질로 처리가 가능하다. 예를들면, 유기탄소를  $\text{CO}_2$ 로, 유기질소 및 무기질소를  $\text{NO}_x$ 가 아닌  $\text{N}_2$ 로, 유기할로젠을 H-X화합물로, 유기유황 및 무기유황을  $\text{SO}_x$ 가 아닌  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 으로 변환이 가능하다. 또한 폭약류나 방사능에 오염된 각종 유기 폐기물 등 다양한 유해화합물의 분해도 가능하다. 원리적으로는 펌프로써 공급할 수 있는 거의 모든 유기폐기물 및 혼합물은 초임계수프로세스에 의해 처리가 가능하다. 초임계수산화반응은 매우 빨라서, 전형적인 반응시간은 수십초에 이루어진다. 이와 같은 빠른 산화반응의 진행은 원료 및 산화제가 동시에 초임계수에 용해하여, 반응이 균일상계에서 진행하기 때문이라고 알려지고 있다.

초임계수산화프로세스의 가장 큰 장점으로는 고밀도, 고농도의 환경에서 비교적 빠른 반응속도가 얻어진다는 점이다. 즉, 대기압하에서의 연소(소각)와 비교하여, 반응기의 체적을 대폭적으로 작게 할 수가 있다. 따라서, 필요한 경우에는 온라인이나 이동식의 프로세스를 설계·제작할 수도 있다. 또한, 엄격한 폐쇄프로세스(Closed-process)이기때문에 프로세스로부터 발생하는 유해물을 충분히 관리할 수 있다. 더구나, 저농도에서 고농도의 폐기물 처리에 용이하게 대응이 가능하며, 수용액이나 젖은 상태의 폐기물에 대해서도 특별한 전처리공정이 필요하지 않다. 그 밖에도 반응속도의 제어성도 높고, 화약 등의 고

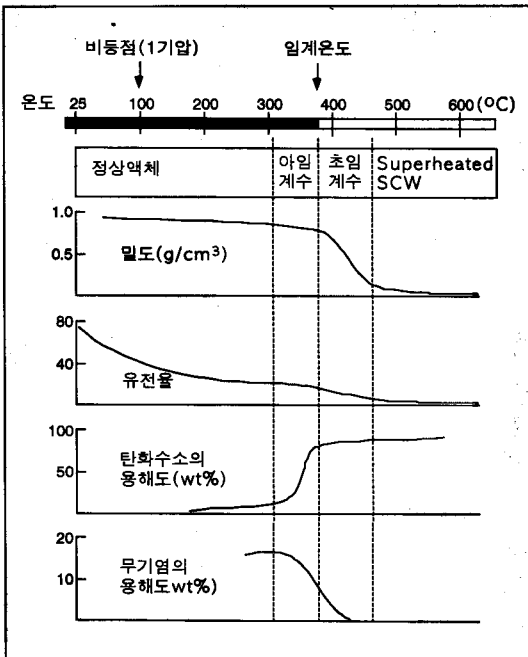


그림 1. 초임계영역(218-300기압)에서의 물의 주요 성질

에너지물질의 처리도 안전하게 이루어질 수 있다. 또한, 기술적으로도 열관리가 용이하여, 열에너지(증기)의 회수로 성에너지화가 가능하다. 따라서, 초임계수산화프로세스를 이용한 유해폐기물 처리설비는 소각과 같은 종래의 처리방법에 대해 코스트면에서도 충분한 경쟁력을 갖고있다.

### 3. 초임계수산화 프로세스

현재 개발되어지고 있는 연속처리방식의 초임계수산화프로세스에는 대부분 관형(Tube type) 반응기 또는 조형(Bath type) 반응기가 이용되어지고 있다. 이 초임계산화프로세스는 기본적으로 세 부분으로 구성되어 있다. 첫째는 고압펌프와 예열기, 그리고 처리원료, 산화제, 순수(순수한 물) 및 보조연료의 공급부, 둘째는 반응기, 셋째는 냉각기와 분리기 등으로 이루어진다. 또한, 현재 예열기, 반응기, 그리고 냉각기의 재료로서는 Inconel-625와 Hastelloy C-276이 주로 사용되어지고 있다. 그림 2에는 연속처리식 초임계산화프로세스의 대표적인 예를 보여준다. 산화제로는 공기, 순산소 또는 과산화수소 등이 이용되며, 필요에 따라서는 보조연료를 공급한다. 반

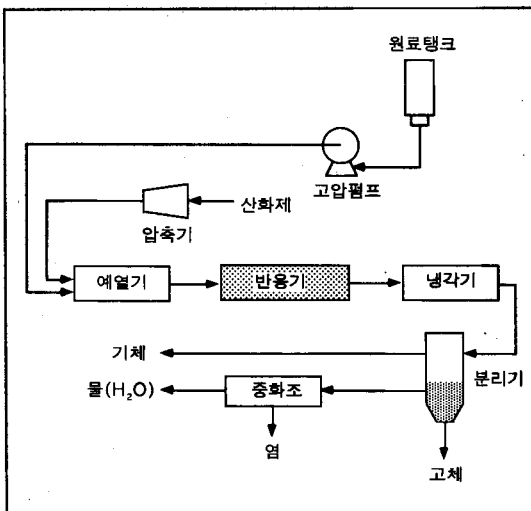


그림 2. 연속식 초임계수산화 프로세스의 기본 개략도

응기는 구조가 비교적 간단한 관형 반응기가 대부분 사용되어지고 있으나, 염의 석출에 대한 대책이 필요하다. 반응기가 생성된 산에 대하여 충분한 내식성을 갖는 재료인 경우에는 냉각후에 중화제 등의 주입에 의해 반응기내의 염의 석출을 방지할 수도 있다.

그림 3에는 Modar사가 개발한 조형 반응기의 개략도를 보여준다. 이 경우에는 반응기의 내부 벽을 물로 세척하는 등으로 부식과 염의 석출을 방지한다. 그림 3은 반응기 본체와 내부 튜브 사이에 압축공기의 일부를 흘려줌으로써 반응액과 압력용기와의 직접적인 접촉을 막아준다. 이 경우에는 내부튜브는 교환이 용이하여, 부식이 확인되면 교환한다. 더우기 반응기의 하부로부터 냉각수를 주입하여 축방향으로 온도분포를 형성시켜, 고온의 반응부에서 석출한 염을 저온의 반응기 하부에서 재용해시켜 반응기 벽의 폐쇄됨을 막고있다. 이 프로세스의 물, 유기물 및 산소

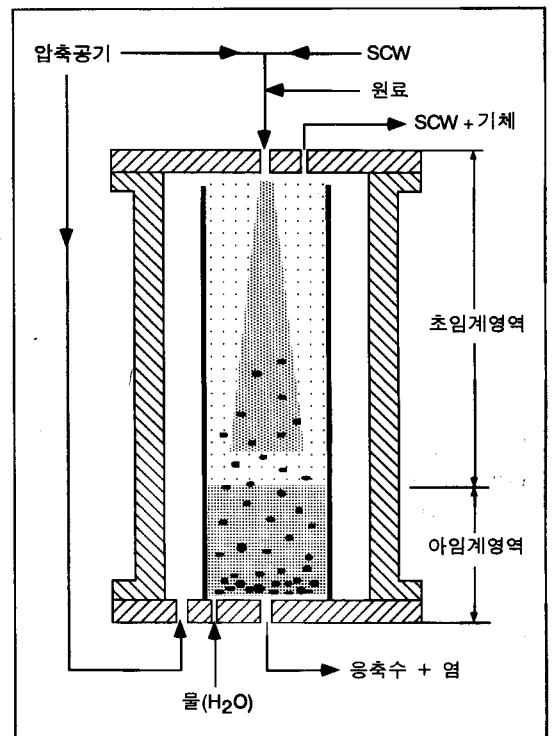


그림 3. Modar사 반응기의 내부구조

는 중간정도의 온도(400°C 이상)와 고압 상태에서, 유기물의 자발적인 산화로 열이 발생하여 온도가 650°C 정도로 상승된다. 유기물의 분해는 빠른 속도로 일어나고, 반응로에 있는 시간은 대체적으로 1분이내이다. 연소 후에는 물, CO<sub>2</sub>, 분자질소 등이 생성된다. 용해도가 낮은 무기염은 석출되어 고체로서 포집된다. 열은 처리과정에서 증기로서 회수 가능하며, 장입물을 예열하거나 또는 전력발전용의 증기로서 사용이 가능하다.

표 1에는 EWT사의 상업용 초임계수산화프로세스를 이용하여 최근 실시한 처리결과를 나타낸 것이다. 일부를 제외하고는 거의 모든 유해폐기물들이 99.9% 분해되고 있음을 보여주고 있다.

#### 4. 각국의 동향

미국은 초임계수산화프로세스에 대하여 가장 활발하게 연구하고 있으며, 동설비의 건설에도

가장 적극적이다. 초임계수산화프로세스는 원래 화학가스, 폭약 등과 같은 군관련 유해폐기물을 처리하려는 의도로 연구가 시작되었으나, 민간의 유기 유해폐기물의 처리를 위한 연구와 설비의 도입도 활발하다. 1994년 봄, 미국의 Eco Waste Technologies(EWT)사는 세계최초로 Huntsman 사에 상업용 초임계수산화프로세스 폐기물처리 설비를 건설하였다. EWT는 초임계수산화프로세스설비 설계 및 제작하였으며, 1996년도에는 약 550톤의 유기폐기물을 처리하였다고 한다. 텍사스대학(University of Texas)은 완전 자동화된 3기체의 시험설비를 건설하였다. 이 설비는 폐기물의 처리능력이 시간당 약 230리터로서, 현재 유기 유해폐기물등의 Treatability Study중에 있다. 한편, 미국의 해군은 1997년말까지를 목표로 두개의 프로젝트를 진행 중에 있다. 그 하나는 California에 군관련 유기폐기물을 시간당 약 45kg 처리할 수 있는 초임계수산화프로세스 폐

표 1. Recent experience data of EWT Plant.

Waste Stream	Contaminant	Concentration in Feed(mg/L)	Destruction(%)	Test Duration(days)
Organic-laden Wastewater	TOC	50,000	99.9	3
Municipal Sludge	COD	93,230	98.3	1
	TS	66,850	71.7	
Refinery Sludge	COD	68,949	97.1	1
	TS	31,715	50.5	
Chemical Industry Biosludge	COD	42,239	98.9	1
	TS	39,340	70.9	
Paper Mill Sludge	COD	54,732	99.9	2
	TS	33,353	57.8	
Fermentation Still Bottoms	COD	75,471	99.9	1
	TS	19,033	98.9	
Excess Hazardous Materials				
Paint Sludge	COD	>500,000	99.7	1
Paint Liquids	COD	299,500	99.3	1
Adhesive Sludge	COD	>500,000	99.8	1
Greases and Lubricants	COD	1,682,000	99.9	1
Mixed Solvents	COD	412,600	99.4	1
Non-chlorinated Waste Oil	COD	1,589,000	99.9	1
Chlorinated Waste Oil	COD	2,782,000	99.9	1
AFFF Solution	TOC	25,280	99.9	1
TEA/Citric Acid Solution	TOC	29,200	99.9	1
Mixture of All EHM's	COD	>500,000	99.9	10

기물처리설비를 건설 중에 있다. 다른 하나는 초임계수산화프로세스 폐기물처리설비를 군함에 설치하여, 처리가 필요한 곳으로 직접 설비를 이동시켜 기름, 페인트 등에 오염된 오물이나 유기물들을 처리할 계획으로 진행중에 있다. 또한 Advanced Reserch Project Agency(ARPA)는 화학가스와 같은 군관련 폐기물을 미 공군은 로켓트에서 나오는 화약성분등을 처리할 초임계수산화 폐기물처리설비를 별도로 건설할 계획중에 있다.<sup>[5]</sup>

독일에서도 초임계수산화프로세스에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 주로 민간용의 유기 유해폐기물의 처리를 목적으로 시험설비가 제작되어지고 있다. 또한, 스웨덴의 Chematur Engineering사는 1995년 11월 초임계수산화 폐기물처리사업에 진출하여 1997년 12월을 목표로 시험설비를 건설하고 있다. 한편, 미국의 일부 초임계수산화프로세스업체는 유럽에 기술제휴나 합작회사의 형태로 진출하고 있기도 하다.

일본에서는 초임계수산화프로세스에 대한 연구가 비교적 늦게 시작되었다. 또한, 미국과는 달리 주로 민간용의 유기 유해폐기물을 처리하는 연구와 시험설비의 도입에 중점을 두고 있다. 통산성산하의 동북공업기술연구소는 2000년까지 개발을 목표로 난분해성 합염소폐기물의 연속처리기술의 연구를 1995년부터 시작하였다.<sup>[6]</sup> 동시에 물질공학연구소에서도 초임계수산화프로세스에 관한 연구가 이루어지고 있다. 한편, 동북대학의 이라이교수는 초임계수산화를 이용하여 각종 유리물을 분해하거나, 초임계수를 용매로 하여 Biomass자원을 분해하여 에너지나 화학연료를 제조하는 프로세스를 개발하고 있다. 또한, 업계에서도 초임계수산화프로세스에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으나, 특허문제 등으로 공식적인 발표는 거의 없는 실정이다. 그러나, 조만간 일본에서도 초임계수산화프로세스의 시험설비의 도입은 활발하게 이루어질 것으로 예상된다.

초임계수산화 관련 국제회의로는 3년에 한번씩 The International Society for the Advanced of Supercritical Fluids(ISASF)가 주최하는 회의가 있으며, 1997년 5월에는 일본의 센다이시에서 제4회 국제학회가 개최되어 25개국에서 참가하여 210여건의 논문이 발표되었다.

## 5. 초임계수산화와 재료의 부식문제

앞에서 언급한 바와같이 초임계수산화 프로세스가 다양한 유해폐기물을 분해처리하는데 있어서 뛰어난 결과들이 보고되고 그 실현 가능성이 가시화됨에 따라, 최근 동환경하에서의 재료의 부식에 대한 연구가 이루어지고 있다. 동기술의 스케일업과 궁극적으로는 상업화를 위해서는 내식재료의 연구개발이 필수적이라할 수 있다. 초임계수산화 프로세스에서 내식성을 향상시키는 데에는 두가지의 접근방법이 이루어지고 있다. 첫째는 재료의 부식을 유발하는 유체를 반응기의 벽에 접근시키지 않고 이루어지게 반응기를 설계·제작하는 방법이다. 둘째는 초임계수산화에 적합한 내식재료를 개발·선정하는 것이다. 현재까지 보고되고 있는 재료의 부식예와 부식관련 연구결과는 다음과 같다.

현재 운행중인 연구실 및 시험규모의 초임계수산화프로세스에서는 예상되는 예열기, 반응기, 냉각기부분에서 부식이 발생하고 있다. 급격한 전면부식, Pitting, SCC(Stress Corrosion Cracking)등이 확인되고 있다. 전면부식은 관심 사항이기는 하지만, 거의 대부분의 경우  $10^2 \sim 10^3$ mpy 정도로 보고되어 지고 있다. 그러나, 가장 심각한 부식은 염소이온이 함유된 환경에서의 SCC이다. 예를들면, 염화메칠을 주입하여 실험한 관형 반응기로부터 절단한 Hastelloy C-276에서 입계파괴가 관찰되었다.<sup>[7], [8]</sup> 이 튜브는 외경이 62.5mm이고, 두께가 10mm이다. 여기에서 초임계온도에서 작동하는 튜브부분에서는 완만한 전면부식(20mpy)만이 관찰되었으나, 아

입계온도 영역에 놓였던 부분에는 입계파괴가 일어났다. 시스템의 주입구 부분(아임계온도 근처)에도 약간의 손상을 입어, 결과적으로 파괴는 중간온도에서 일어났다. EDX분석 결과, Hastelloy C-276 튜브의 내부에는 크롬리치가, 배출용액에는 니켈리치가 얻어졌다. 또한, 미세 조직의 관찰결과, 서로 매우 다른 온도에 놓였을 지라도 주입구(실온)와 배출구(초임계온도 영역) 모두가 작은 손상을 입었다. 예열기의 배출구는 초임계상태에서 염화메칠과 반응하지 않기 때문에 파괴는 중간온도에서 일어나며, 가장 심한 부식손상은 반응기가 아니라 예열기와 냉각기일 수도 있다.

Latanision 등<sup>[9]</sup>은 초임계수산화분위기에서의 Inconel 625, Hastelloy C-276, C-22, G-30, 316 STS 및 Ferralium의 내식성을 검토하였다. 부식 시험의 용액은 0.3wt% Cl-, 6wt% O<sub>2</sub>의 조건에서, 600°C의 온도에서 66.2시간후의 부식속도를 측정하였다. 그 결과, 부식속도는 Hastelloy C-30이 0.187mm/y로 가장 적고, 316 STS steel이 G-30의 20배 정도로 가장 빨랐다. 그 외의 합금은 거의 같은 정도의 부식속도를 나타내어, G-30의 거의 3배 정도이다. 또한, 현미경의 관찰결과, 316L STS의 시험편에는 50미크론의 깊이까지 크랙이 발생하였다. 특히, U자로 굽어진 시험편에는 두께 전체에 크랙이 전파되어 있었다. 한편, 온도와 부식의 관계를 알아보기 위하여, Hastelloy C-276 튜브를 HCl수용액(pH 2), 24.2 MPa의 조건에서, 425°C에서 277°C까지 냉각하는 실험을 하였다. 그 결과, 425°C부근에서는 부식은 관찰되지 않았고, 관의 표면도 매끈하였다. 또한 온도가 임계점 부근의 367°C까지 감소하면 부식속도는 증가하지만, 비교적 균일한 부식층이 생기며 크랙은 관찰되지 않았다. 그러나, 300°C 부근의 온도에서 가장 부식이 심하고, 심한 입계 부식이 관찰되었다. 277°C가 되면 부식은 300°C와 비교하여 현저하게 부식은 감소하였지만, 입계부식이 보였다. 따라서, 초임계온도조건에서는

부식은 거의 일어나지 않으나, 아임계온도조건에서 심한 부식이 일어남을 알 수 있다.

Garcia 등<sup>[10]</sup>은 초임계수산화 환경에서의 니켈기 합금과 다층의 세라믹의 내식성을 알아보았다. 합금으로써는 Inconel 625, Hastelloy C-22, C-276등이, 세라믹으로써는 플라즈마용사로 제작한 TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> 등이 사용되었다. 실험조건은 650-300°C, 23.4 MPa, 용액으로는 Cl-이 함유된 기계절삭유인 TrimSol 용액(120,000ppm Cl, 4,990ppm Na, 9,140 ppm S, 1,750 ppm Ca 등이 함유)에 실제 에너지관련 폐기물의 모의용액(5400 ppm CeCl<sub>3</sub>, 2850 ppm PbCl<sub>2</sub>, 2550 ppm ZnSO<sub>4</sub>)을 추가한 것이다. 그 결과, 초임계수산화 프로세스에서 일반적으로 사용하고 있는 니켈기 합금(Inconel 625, Hastelloy C-22, C-276 등)은 TrimSol 용액에서는 심하게 부식이 일어난다. Hastelloy C-22는 Hastelloy C-276보다는 부식이 덜 일어나지만, 재료로서 사용하기에는 부식속도가 상당히 높다. 또한, 니켈기 합금은 크롬성분이 높을수록 부식속도가 감소하였다. 그러나, 플라즈마용사에 의한 세라믹 코팅은 초임계산화 환경에서의 내식재료로서의 가능성을 보여 주었다. 즉, TrimSol 용액에서는 TiO<sub>2</sub>/Ti가 가장 우수한 내식성을 나타내어, 120~180시간 후에도 부식이 관찰되지 않았다. 그러나, 코팅층이 마모가 되었을 때, 혹은 염이나 석출물이 세라믹에 미치는 영향등은 미지수이다.

Boukis 등<sup>[11], [12]</sup>에 의하면, 일부 세라믹재료가 초임계수산화 환경에서 내식성을 발휘한다고 한다. 그들은 여러가지의 세라믹에 대하여 유기폐기물의 분해시의 초임계수산화환경을 모의한 용액(0.44mol/kg O<sub>2</sub>+0.05mol/kg HCl)에서 부식실험을 행하였다. 온도는 465°C, 압력은 25Mpa의 조건이다. 그 결과, 소수의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>기와 ZrO<sub>2</sub>기 재료만이 부식이 덜 일어나, 균일한 표면손상과 입계확산이 관찰되었다.

HIP-BN, B<sub>4</sub>C, TiB<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Y-TZP 등은 붕괴(파괴)되었으며, SiC기 와 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>기재료는 최대

90%의 큰 중량손실을 보였다. 또한,  $ZrO_2$ 기 재료가 어느 정도 내식성을 나타냄에 따라 Ce-TZP, Mg-PSZ, Y-PSZ등에 대하여 내식성을 알아본 결과, Ce-TZP가 가장 좋은 내식성을 보여주었으며, Mg-PSZ과 Y-PSZ는 입계부식이 발생하여 완전히 파괴가 되었다고 보고하고 있다.

Downey 등<sup>[5]</sup>은 니켈 및 코발트합금, reactive metal and alloys, refractory metals, 세라믹, 귀금속과 그 합금 등에 대하여 내식성을 검토하였다. 조건은 350-550°C, 27.6MPa, 용액은 5wt%의 화학가스를 모의한 세종류를 사용하였다. 그 결과, 니켈합금과 세라믹은 내식성이 낮지만, 백금과, 백금합금(Pt/10%Rh, Pt/20%Ir)은 Cl-을 함유하지 않은 용액(GB가스와 VX가스)에서는 양호한 내식성을 보여 주었다. 또한, Ti 및 Ti합금은 HCl을 함유하는 용액(Mustard가스)에 양호한 내식성을 보여 주었다고 한다.

Kriksunov와 Macdonald<sup>[13]</sup>는 초임계수산화 반응로에서 일어나는 초임계 및 아임계온도 영역에서의 부식과정에 대하여 현상론적인 모델을 제안하고 있다. 그들은 초임계수에서 전해질의 해리 및 물의 밀도 변화가 금속 및 합금의 부식 속도에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 설명하고 있다. 아임계온도에서는 전해질의 해리상수 및 용매의 밀도 감소로 인하여 가장 심한 부식이 일어나며, 이는 반응속도정수 및 수소이온과 산소의 농도에 미치는 온도의 영향때문이다. 그러나, 더 높은 온도에서는 재료의 부식은 비전기 화학적기구에 의해 일어난다고 보고하고 있다.

Mitton 등<sup>[7]</sup>은 초임계수산화 환경에서의 전기 화학적 측정을 시도하고 있으나, 그들은 PTFE를 씰링재료로 사용함에 따라 고온에서는 측정이 불가능하며, 보다 고온에서 측정하기 위하여는 세라믹을 사용한 씰링을 고려하여야 하나 용이한 일이 아니다.

현재까지 이루어지고 있는 재료의 내식성 검토는 니켈합금이 주류를 이루고 있으며, 백금과 같은 귀금속, 세라믹에 대하여 이루어지고 있다.

귀금속은 초임계수산화 환경에서 내식성을 나타내지만, 재료의 가격이 너무 비싸서 실용성이 의문시된다. 또한, 일부 세라믹은 어느정도 내식성이 있고, 가격도 저렴하지만, 세라믹만으로 반응을 제작하기에는 취성이 문제가 되리라 생각되어 진다. 따라서, 향후 초임계수산화 환경에서 내식성을 발휘할 수 있는 합금 및 세라믹코팅의 개발이 주류를 이루리라 생각된다.

## 6. 향후과제와 전망

초임계수산화프로세스는 분해효율과 코스트 경쟁력 등 모든면에서 종래의 폐기물 처리방법에 비해 유리하다. 또한, 초임계영역에서의 물의 용매로서의 가능성은 산화반응 뿐만아니라, 가수분해반응이나 수소화반응 등 매우 광범위한 분야에서의 응용이 기대된다. 특히, 단순한 열화학반응이 아니라 적절한 촉매를 이용한 반응에의 전개도 기대 되어진다. 그러나, 지금까지 초임계수산화 환경에서의 재료의 내식성을 평가한 결과를 종합하면, 동프로세스의 예열기, 반응기, 냉각기 부분에 사용가능한 만능재료는 종래재료와 신소재를 불문하고 존재하지 않는다는 것이다. 따라서, 초임계수산화 환경에서 사용이 가능한 적절한 재료가 개발되어 진다면 초임계수를 이용한 응용은 더욱 넓어질 것이 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] P. A. Marrone, R. P. Lachance, J. L. DiNaro, B. D. Phenix, J. C. Meyer, J. W. Tester, W. A. Peters, and K. C. Swallow, ACS Symp. Ser., 608(Innovations in Supercritical Fluids), 197, 1995.
- [2] D. B. Mitton, P. A. Marrone, and R. M. Latanision, J. Electrochem. Soc., 143, 59, 1996.
- [3] L. B. Kriksunov and D. D. Macdonald,

- HTD(Am. Soc. Mech. Eng.)-Vol. 317-2, 1995 IMECE Proceedings of the ASME Heat Transfer Division, 271, 1995.
- [4] K. Arai, Proceedings of the 44th Japan conference on Materials and Environments, JSCE, Sendai, E-201, 1997.
- [5] K. W. Downey, R. H. Snow, D. A. Hazlebech, and A. J. Roberts, ACS Symp. Ser., 608(Innovations in Supercritical Fluids), 313, 1995.
- [6] 1997年度工業技術院研究所研究計畫, (財)日本産業技術振興協會, 東京, p.370, 1997.
- [7] D. B. Mitton, J. C. Orzalli, and R. M. Latanision, ACS Symp. Ser., 608(Innovations in Supercritical Fluids), 327, 1995.
- [8] R. M. Latanision, Corrosion, 51, 270, 1995.
- [9] R. M. Latanision, D. B. Mitton, S-H Zhang, J. A. Cline, N. Caputy, T. A. Arias, and A. Rigos, The 4th International Symposium on Supercritical Fluids, May 11-14, Sendai, Japan, 865, 1997.
- [10] K. M. Garcia and R. E. Mizia, HTD(Am. Soc. Mech. Eng.)-Vol. 317-2, 1995 IMRCE Proceedings of the SAME Heat Transfer Division, 299, 1995.
- [11] N. Boukis, N. Claussen, K. Ebert, R. Janssen, and M. Schacht, J. Eur. Ceram. Soc., 17, 71, 1991.
- [12] M. Schacht, N. Boukis, N. Claussen, E. Dinjus, K. Ebert, R. Janssen, and, F. Meschke, The 4th International Symposium on Supercritical Fluids, ISASF, Sendai, 147, 1997.
- [13] L. B. Kriksunov and D. Macdonald, J. Electrochem. Soc., 142, 4069-4073, 1995.