

극한기술에 의한 유해폐기물의 처리

현영진 · 오윤근

환 경 연 구 소
환 경 공 학 과

Detoxification of Toxic Waste through Critical Technology

Hyun, Young- Jin, Oh, Youn-Keun

Environmental Research Institute, Cheju National University

1. Ara-Dong, Cheju- Shi, Cheju-Do, Korea, 690-756

유해화학물질의 남용

20세기 산업화의 도래로 인류 삶의 질이 향상되었지만, 이의 반대급부로 폐수와 폐기물이 무절제하게 방류되어 하천과 지하수 오염이 가중되고 있다.

특히 DDT(Dichloro Diphenyl Trichloro ethan), PCB(Poly Chlorinated Biphenyl), PCP(Penta Chloro Phenol) 등 유해물질들이 범람하고 있다. PCB는 변압기와 축전기의 절연류, 냉각제, 윤활제, 가소제, 페인트로 사용되고 있다. 세계적으로 120만톤, 미국이 43만톤, 프랑스가 20만톤, 독일이 12만톤, 영국이 6만6천톤, 일본이 5만9천톤에 이르고 있다. PCB의 이성질체는 209종으로 시판제품의 종수는 100

여종이 된다. 이의 농도가 0.05%이상이면 유동체가 되어 생태기관 곳곳에 축적되어 독성을 나타낸다. PCB의 흡수 배출은 PCB의 염소수 및 염소위치에 따라 다르지만 생체의 높은 흡수율로 먹이사슬을 거쳐 인간에 올 때 2500만 배 까지 농축되어 흡수된다.

이의 축적으로 체내 호르몬을 교란시켜 수컷의 기능이 약화되면서 암컷화 된다. 특히 물개의 성기가 왜소화되어 성기능이 격감된다.

그 외 생물학적으로 처리가 어려운 페놀, 시안, 카뉘 등의 중금속 물질들이 산업현장에서 방류되고 있다. 이들은 고농도 난분해성 폐수와 저농도 폐수가 혼합되어 처리되기에 대규모의 시설을 요하

는 실정이다. 난분해성 독성물질은 미생물 처리가 어려워 산업폐기물로 다량으로 배출되고 있다.

난분해성 폐기물의 처리는 소각법에 의존하고 있으나 1,000℃이상의 고온에서 운전되기에 에너지요구량이 많고, NOx, SOx, 다이옥신 등 2차 대기오염이 문제이다.

극한기술의 출현

극한기술은 온도와 압력의 극한변화를 통해 물질의 물리·화학적 특성이 바뀌는 성질을 이용하는 기술이다.

첫째로 도체의 온도를 절대영도 가까이 내리면 원자들이 결정구조를 보인다. 이 상태의 도체는 전기저항을 제로에 접근시켜 전류손실이 거의 존재하지 않는 초전도 기술이 있다.

온도를 절대영도로 내리는 것은 사실상 불가능하다. 그래서 자연계에서 전기저항을 최소로 하는 초저온을 규명하는 것이 과제로 연구되고 있다.

둘째로 상평형을 이루는 기-액물에 온

도와 압력을 올리면 액체밀도는 감소하고, 기체밀도는 증가하다 두 상의 밀도가 같아져 기-액상구분이 없어지는 임계점이 나타난다. 임계점 이상의 온도와 압력에 있는 초임계유체는 액체보다 점도가 낮고, 기체보다 밀도가 크다. 수소결합력이 약화되면서 나타나는 배위성(association)이 산화를 촉진시킨다.

이 유체는 다른 물질과의 용해도(Solubility)·혼합도(Miscibility)·열용량(Heat Capacity)·열전도도(Thermal Conductivity) 등의 물리·화학적 특성들이 액체나 기체에 비해 매우 다른 특성을 보인다.

초임계수와 유기물간에는 계면이 없어지고, 초임계수와 산소간 계면도 사라져 유해유기물과 산소를 완벽하게 혼합시켜 산화반응을 진행시킨다.

따라서 산화단계의 율속저항을 현격히 감소시켜 유해 폐기물의 분해를 촉진시킨다. 이 산화기술은 폐수에 함유된 모든 유기물을 완전히 분해시켜 처리수를 공정수로 재활용할 수 있다. 고농도의 유기폐수를 99.9%이상 분해시켜 처리수의

표. 유해폐기물 및 폐수의 처리효율

Compound	Temp(°C)	Time(min)	Concentration		Destruction Efficiency(%)
			In (mg/l)	Out (mg/l)	
p-Chlorophenol	450	3	1,000	< 0.1	> 99.99
2,4-dichlorophenol	400	10	300	1.2	99.6
Pentachlorophenol	450	2	500	< 0.04	> 99.99
2,4,6-Trichlorophenol	500	2	200	0.01	99.995
Industrial Waste	400	1	1,840	27	98.5
Municipal Sludge	450	4	14,202	84	99.4
Contaminated Soil	500	2	170	9	94.6

COD도 0%로 낮춘다. 총질소(T-N)성분도 99%이상 제거된다. 유해 유기물의 파괴효율도 표에서 보는 바와 같이 거의 95%이상이다.

산업폐수 및 슬러지의 처리효율은 400~500℃에서 98.5~99.8%, 오염토양의 처리효율은 400~500℃에서 92.4~94.6%이다.

임계점에 접근하면 물의 비열이 급격하게 상승하여 거의 무한대에 이른다.

임계점을 벗어나초임계에 이르면 막비등이 일어나서 열전달이 급격하게 감소는 어려움이 있다.

소각과는 달리 이 기술은 단히계에서 조작되기에 산화기체들이 대기로 배출되는 우려도 없다. 소각온도가 1,000℃이상인데 반하여 조작온도가 400~600℃로서 낮아 질소산화물(NO_x)가 매우 적게 생성된다.

반면 무기물은 쌍극자 모멘트를 거의 잃은 초임계수에 용해될 수 없어 침전물로 나타난다.

고온·압에 의한 강한 산화력은 재질의 부식을 심각하게 유발시켜 특별재질의 반응기가 요구되는 결점이 있다. 300℃ 와 pH가 2.1인 조건에서는 유전상수가 매우 높아 부식이 강하다. 온도가 증가하면 수소이온 농도에 무관하게 부식이 더 촉진된다.

임계점에 접근하면 물의 비열이 급격하게 상승하여 거의 무한대에 이른다. 임계점을 벗어나초임계에 이르면 막비등이 일어나서 열전달이 급격하게 감소는 어려움이 있다.

기술개발 현황

70년대 중반부터 미국의 국방성과 에너지성을 중심으로 기술개발이 수행되었다.

우리나라에서는 80년대 말부터 대학 및 연구소에서 유해폐수의 산화분해 연구를 수행하였다. 미국의 Eco Waste Technologies에 의해 1,100 ℓ/hr 용량의 초임계수 산화장치를 상업화하였다.

1994년 한화석유화학(주) 중앙연구소가 Pilot Plant규모의 기술을 상업화 단계에 들어갔다. 선진국 기술에 비해 에너지 효율이 20~30%이다. 1998년 남해화학 여천공장 유해폐수처리 설비의 설치계약을 체결하였다.

그러나 아직도 강력한 산화력에 의한 부식이 상업화에 큰 걸림돌이 되고 있다. 장치부식으로 처리수가 붉게 나타나기도 하였다.

부식을 방지하는 연구가 동시에 수행되어야 이 기술의 상업화 여부가 결정될 것이다.

요 약

극한기술의 하나인 초임계수 산화법에 의한 유해 폐수·기물처리의 특성과 장래성을 고찰하였다. 20여년 전부터 선진국은 이 기술의 상용화에 많은 연구를 수행해 왔다. 상용화의 기반이 구축되고 있으나 아직도 고온·압의 운전조건에 의한 부식이 큰 제약조건으로 나타나고 있다. 이런 난제만 해결된다면 2차오염을 유발시키지 않는 폐수·기물의 사후처리 기술로서 장래성이 있는 기술이다. 아울러 날로 증가하는 지역의 유기 폐기물을

처리하는데 적절한 기반기술로 사료된다.

참고문헌

1. P.Chen, W. Zhou, and L.L.Tavlarides, Environmental Progress, Vol.16, No.3, 1997
2. 한승호, 화학공업과 기술, 제 15권, 제6호, 1997
3. 김성윤, 에코비전 21, 7, 1999
4. Han Ju-Hee, News & Information For Chemical Engineers, Vol. 17, No.6, 1999