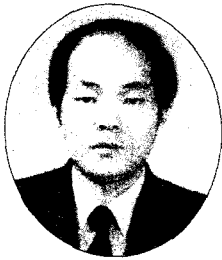


1. 머릿 말

첨단기술을 이용한 폐수처리에서 첨단기술이란 국내에서 최근까지 폐수처리에서 주로 사용하여온 표준 활성오니법과 비교하여 경제성이 있거나(건설비, 운전비 및 부지절감등), 표준 활성오니법으로는 처리가 곤란한 폐수를 처리 가능하도록 하는 모든 PROCESS라고 정의하며, 이와 관련된 폐수처리 PROCESS를 여기에서 언급하고자 한다.

첨단 폐수처리 기술소개 및 기술개발

이 철 / 제철엔지니어링환경사업부 이사



폐수처리 PROCESS를 대별하면 물리, 화학적 처리와 생물학적 처리로 나누어지는데 물리, 화학적 처리는 건설비가 적게 드는 대신 약품 소모량 때문에 운전비가 많이 소요되며, 한편 생물학적 처리는 건설비가 비싼 대신 운전비가 적게 드는 장점이 있다.

생물학적 처리도 두가지로 대별할 수 있는데 호기성(공기를 좋아하는) 미생물을 이용한 호기성 처리방법과 혐기성(공기를 싫어하는) 미생물을 이용하는 혐기성 처리 방법이 있다. 혐기성 소화는 전통적으로 호기성 소화에 의한 슬러지 처리 및 고농도 폐수 처리에 적용되어 왔다. 생물학적 처리는 대체로 COD_{Cr}/BOD비가 2이하일 경우에 많이 적용되며 호기성 처리방법과 혐기성 처리방법의 기준이 되는 수치는 COD_{Cr} 2,000mg/l (약 BOD 1,000mg/l)이며, COD_{Cr} 2,000mg/l이 넘을 경우 혐기성 소화에 의한 방법을 채택하는 것이 건설비 및 운전비를 고려할 때 경제적이다.

생물학적 처리가 불가능한 난분해성 물질의 폐수처리는 난분해성 물질을 미생물이 처리할 수 있는 물질로 변화시키는 전처리 과정이 도입되어야 하고, 지금까지는 주로 OZONE 처리를 사용하여 왔는데 본고에서는 첨단기술인 전자빔 가속기 기술을 소개하고자 한다.

환경분야의 기술이란 토목, 건축, 기계 및 전기 공학을 기초로 하고 있으며, 미생물학 및 화학공학

등의 학문을 활용하는 종합기술이라고 생각한다.

환경분야의 기술 개발이란 여러 학문을 필요로 하는 종합기술인 만큼 각 전공자의 협력과 노력이 요구된다고 본다. 또한 산업체 연구소에서 각 분야의 전공자를 일시에 충원 한다는 것도 현실적으로 매우 어려운 상황인 만큼 당분간은 산업체, 학교 및 연구소의 협동체제가 요구된다 하겠다. 특히 환경분야 기술개발에 있어서 간과해서는 안될 것은 개발하고자 하는 기술이 우리나라 실정에 맞는 기술이어야 한다는 점이며 또한 정부의 환경정책에도 부합되어야 한다는 것이다.

2. 첨단기술을 이용한 폐수처리

2-1. 혐기성 소화

최근 반응조내에 일정량 이상의 미생물을 효과적으로 보유할 수 있는 기술이 개발되면서 혐기성 처리의 영역이 확대되어 가고 있다. 학계에서는 이와 같은 새로운 기술을 이용한 혐기성 처리형태를 고율혐기성 처리공법이라고 분류하고 있다. 현재까지 개발된 ANAEROBIC FILTER SYSTEM이나 UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET 같은 일련의 고율혐기성 처리공법들의 주요한 특성은 처리하고자 하는 폐수에 활성이 높은 미생물을 효과적으로 반응조 내에 보유하는 것이다. 이를 위하여 각각의 고율혐기성 처리공법은 '자기고정화' (미생물은 적당한 조건을 부여하면 세포벽 외부에 접성이 좋은 물질을 분비하기 때문에 쉽게 부착하려는 성질이 있다.)라는 독특한 방법을 이용하게 되는데, 이는 여재를 이용하는 방법 (그림 1)과 입상슬러지를 이용하는 방법으로 양분된다.

2-2. DEEP SHAFT (초심층 폭기법)

초심층 폭기법은 화학분야의 세계적 우수기업인 영국의 ICI(IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES)가 1970년대 중반에 개발한 PROCESS로서, 폭기조내의 용존산소를 소모하는 미생물 양도 한정되어 있는 기존의 활성오니법과는 달리 직경 0.5-6.0m, 수직으로 50-150m를 굴착하여 폭기조를 설치함으로써 수압상승에 비례하여 산소용해도

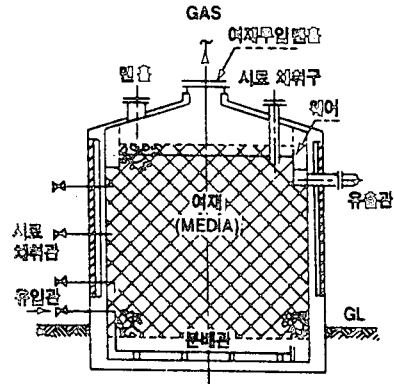


그림 1. 혐기성여상 반응조

를 높이고, 용존산소를 풍부하게 유지할 수 있도록 하여 미생물이 짧은 시간동안 폐수에 함유된 유기 물질을 처리하는 공정이다 (그림 2).

수심에 따라 수리학적 압력이 증가하여 수표면에 비해 11배 산소 용해도가 증가한다 (수심 1백m 인 경우, 헨리의 법칙).

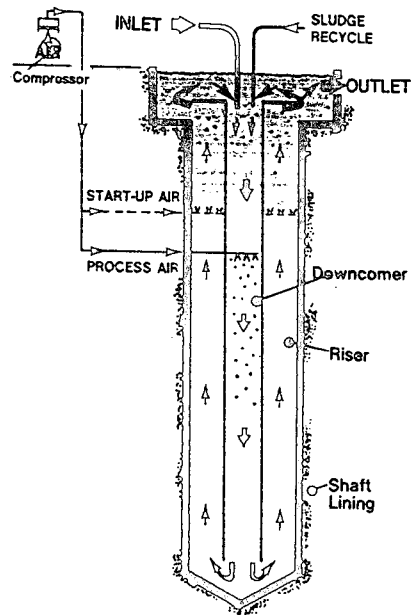


그림 2. 초심층폭기법의 구조도

초심층 폭기조내의 혼합액 유속이 빠르기 때문에 흐름은 난류상태로 되며 이때문에 산소의 전달량이 매우 높아지고(1.92-2.9kg O₂/HR/m³) 용해산소가 증가함에 따라 미생물의 활성도가 증가하여 짧은 시간에 유기물의 제거가 이루어진다(체류시간 1-2HR). 기존 활성오니법의 폭기조에 대해 10-15%의 부지에 설치할 수 있다.

2-3. BIOHOCH REACTOR (UHDE PROCESS)

UHDE PROCESS는 독일의 UHDE사에서 개발한 PROCESS로서 고효율 폭기조(15-20m 높이의 심층폭기조)와 폭기조 상부에 동심원 형태의 침전조를 부착시켜 한조의 반응기로 두가지 기능(폭기 및 침전)을 가질 수 있어 부지절감을 꾀할 수 있는 PROCESS이다.

수심이 일반 표준활성오니법의 폭기조의 4-5배가 되고 고효율 AERATOR를 사용하여 산소용해도를 증가시킴으로서 폭기조의 효율을 높이고 또한 동심원내의 침전조를 부착시켜 소요부지를 절감한다. 산소 이용율도 초심층 폭기법과 유사하게 되어 고부하 운전이 가능하며, 구조적 특성으로 부지소요가 적고 하부공간도 활용이 가능하다. STEEL구조인 관계로 공사비는 다소 높으나 기초공사후 바로 시공을 할 수 있어 공기를 단축시킬 수 있는 이점이 있다.

2-4. 순 산소법

최근까지 표준활성오니법의 경우 산소원으로서는 공기를 사용하여 왔으나 공기중에는 21%의 산소가 함유되어 있어 액중에서 산소의 용해능력이 낮아 폭기조의 효율을 높이는 데 어려움이 많았으나 90%이상의 순산소를 이용하여 산소의 용해도를 증가시킴으로서 폭기조의 효율을 높일 수 있게 되어 부수적인 효과도 올릴 수 있다.

순 산소법의 중요장치는 순산소 발생기인데 이는 PSA(PRESSURE SWING ADSORPTION)방법을 이용하는 것이다. 일반적으로 MOLECULAR SIEVE를 흡착제로 사용 공기중의 탄화 GAS 및 질소 GAS를 제거하여 90%이상의 순산소를 제조하는 장치이다.

순산소를 폭기조에 투입함으로써 폭기조의 효율을 높여 폭기조부지 면적이 적게되며, BOD부하를 높일 수 있는 장점이 있다.

2-5. 전자빔 가속기 (ELECTRON BEAM ACCELERATOR)

전자빔가속기는 전자를 방출하는 고체를 5V 전압으로 HEATING시켜 전자를 생성하고, 생성된 전자에 자장을 걸어 가속시켜 고에너지 전자빔을 생성하는 장치로서 주요사양과 구성요소는 다음과 같다(그림 3).

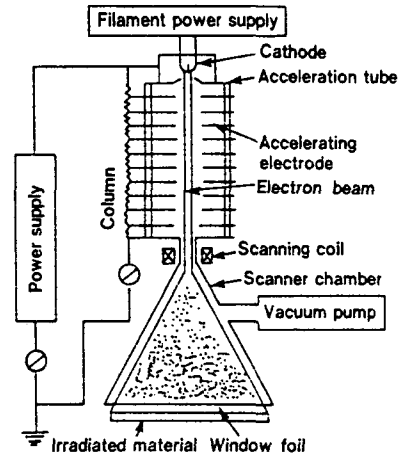


그림 3. 전자빔 가속기의 구성요소

오존처리를 전처리로 할 경우에는 오존자체가 BOD 및 COD SOURCE를 직접 산화 제거하는 수도 있고 COD(BOD와 중첩되지 않는 부분)를 BOD화(미생물이 분해되기 쉽도록 함) 하여 미생물로 처리하는 경우도 있다. 즉 폐수처리의 경우 전처리로 오존처리를 할 경우에는 COD_{Cr} 자체는 감소하나 COD_{Mn}은 증가할 수 있다(COD_{Cr}이 COD_{Mn}화 하는 것이 COD_{Mn} 자체 산화분해 되는 양보다 많을때). 여기서 전처리로 오존처리를 언급하는 것은 전자빔 가속기의 원리를 설명하기 위한 인데 지난번 구미에서 발생한 PHENOL사건과 관련하여 PHENOL의 예를 들어 설명하겠다. 페놀은 적은 양의 경우(약 500mg/ℓ, 폐수의 종류에 따라

표 2-1. 전자빔 가속기의 주요사항

항 목	사 양
-대당가격 만 S	25-100
-ELECTRON ENERGY, MeV	0.4-2.0
-평균 BEAM POWER, KW	20-80
-전자빔 CURRENT, mA	5-80
-EFFICIENCY, %	70-80
-자체 무게, TON	3.5-5.2
-소비전력, KW	30-100
-전체규격	
DIAMETER, m	1.35-1.65
HEIGHT, m	3.4-5.2

다름) 미생물이 분해할 수 있는데 높을 경우에는 미생물이 PHENOL의 독극성 때문에 미생물들이 죽게되어 처리가 곤란하다 (이해를 돕기 위해 PHENOL 100mg/l의 경우 BOD가 10이지만 PHENOL 1,000mg/l의 경우 BOD가 100이 아니라 0이 됨, BOD란 PHENOL을 먹을때 필요한 산소량인데 1,000mg/l의 PHENOL하에서 미생물들이 전부 죽으니 산소가 필요없게 됨). 즉 PHENOL 농도가 높을경우 전처리로 페놀분자를 쪼개어 미생물들이 먹을 수 있도록하며, 독극성을 없애 주어 폐수처리를 할 수 있게 된다. 즉 PHENOL 분자를 오존(O₃)이 공격하여 (발생기산소) 벤젠링을 쪼개거나 OH기를 벤젠링에서 떼어낼 수 있게 하여 폐수처리시 미생물들이 손쉽게 공격할 수 있도록 도와주게 된다.

전자빔가속기의 경우에는 오존의 경우와 달리 전자 자체를 가속시켜 분자내의 ENERGY 보다 높은 ENERGY로 충돌시켜 분자를 쪼갬으로서 폐수처리를 용이하게 하는 것이다. 전자빔 가속기와 오존처리를 비교하면 에너지 측면에서 전자빔이 5 배 강하고 (즉 O₃처리는 COD_{Cr}, COD_{Mn}의 일부를 BOD로 바꾸는 반면, 전자빔의 경우 거의 모든 COD_{Cr}, COD_{Mn}을 BOD로 바꿈) 전기사용을 80% 절감할 수 있는 장점이 있다. 전자빔가속기의 단점으로는 대당 가격이 비싸기 때문에 폐수처리량이 많은 경우와 고농도 난 분해성 폐수에 적용이 가능할듯 하고, 환경규제치가 총량규제 (유출되는 BOD, COD유량)로 되고, COD규제를 강화할 경

우에는 전자빔가속기의 사용 또는 폐수 무방류 SYSTEM이 고려되어야 한다. 적용이 가능한 분야는 난분해성 물질폐수 (PHENOL 폐수, 염색폐수, 제약폐수, 제지폐수 및 농약폐수등) 및 상수원에 Cl₂ 대신 사용이 가능하며, 병원균이 많은 병원 쓰레기등도 일반 쓰레기화 하여 처리비를 감소시킬 수 있다.

3. 기술개발 추진 방향

기술개발이라 함은 자체 기술개발만을 의미한다고는 생각되지 않는다. 선진외국에서 기술도입을 하는 것부터 기술개발의 시작이라고 보면 기술개발의 순서는 선진 외국 기술도입, 기술개량 그리고 자체 기술개발의 순서로 이루어져야 할 것이다. 장기적인 면을 고려 할때 자체 기술개발이 최종목표 이기는 하나 외국에서 국내 실정에 맞는 PROCESS를 도입하여, 좋은 결과를 낼 경우 국내 환경여건을 보다 깨끗하게 하는데 일익을 담당하는데 일조한 것이라 생각된다. 여기서 국내 실정에 맞는 PROCESS라 함은 환경 처리시설에 인입되는 성상이 동일하다는 전제조건이 이루어져야 하는데, 이것은 각 나라의 생활수준에 따라 크게 변할 수 있으므로 이에 따라 기술의 변화가 있어야 할 것으로 사료된다.

화학공장의 경우, 외국의 기술을 그대로 도입해서 국내에 설치할 경우 커다란 문제는 야기되지 않는데 반해 환경기술의 경우는 상황이 다르다고 본다.

환경기술의 개발은 약 5년이 소요되는데(화학 PLANT의 경우 20-30년 소요됨) 각 기업에서는 5년을 기다리지 못하는 현실을 감안할 때 당분간은 기술도입 및 자체 기술개발을 동시에 실시해야 할 것으로 사료되고, 우선적으로 국내에서만 이루어질 수 있는 기술(연탄재 활용방안)과 96년부터 환경규제 대상인 질소, 인제거 방안등의 기술부터 투자하여 연구하도록 하는 것이 바람직 할 것이다.

4. 기술개발의 문제점 및 대책

우리나라는 그동안 환경오염 방지기술 개발에 대한 투자가 절대적으로 부족했으며 현안 문제에

급급하다 보니 장기적인 관점에서 기술개발에 투자를 할 여유가 없었다 (91년도 총투자액에 대한 환경투자자는 1%미만이었음). 지금까지는 기술개발 보다는 기술도입에 의존해 왔지만 장기적인 안목을 갖고 기술도입과 적극적인 기술개발을 병행 추진해야 하는 시점에 이른 것이다. 참고로 지금까지는 사후 처리기술 (수질, 대기 및 폐기물 처리기술)이 었으나 앞으로는 지구 환경 보전과 관련된 청정기술 분야(CFC 대체물질 개발기술등)의 기술도입이 이루어질 것이다.

환경 분야의 기술개발은 연구소, 학교 및 기업에서 다양한 연구수행 하였으나 아직까지는 목표 지향성이 결여되어 개발된 기술을 실제로 산업체에 응용되지 못하였으며, 상당부분 연구가 연구로 끝나는 경우가 많았다. 앞에서 언급 했듯이 현시점에서는 산·학·연의 공동연구가 필요한 시점이며 특히 학교나 연구소에서는 연구후 결과에 대하여 확실한 GUARANTEE가 있어야 한다고 본다. 지금까지 기업체에서 학교나 연구소에 연구를 의뢰하였을 경우 제출한 결과에 대하여 GUARANTEE 하는 것이 마땅하나 그렇지 않은 경우가 많아 기업체에서는 연구 의뢰를 꺼려 왔던 것이 사실이었기 때문에 이 점에 대하여 확실히 하는 것이 바람직하다고 본다.

환경기술의 개발과 함께 개발된 기술의 산업화를 위하여 산·학·연의 무한한 노력이 필요하며, 이미 개발된 기술을 다른기관 또는 기업체에서 중복 투자 하는 경우가 발생하지 않도록 기술정보 관리체계를 정부차원에서 관리할 수 있도록 하는 것이 바람직 할 것이다. 이점과 관련 G7 PROJECT 라는 것이 '92년 부터 시작되었는데 이번만은 장기적인 목표를 가지고 균형잡힌 산업화가 되도록 산·학·연 모두 최선의 노력을 경주 하여야 할 것이다.

5. 결 어

폐수처리 SYSTEM을 설정하는데 관련되는 FACTOR로는 여러종류가 있으나 가장 중요한 것은 건설비, 운전비 및 소요부지 면적이라고 생각한다.

폐수처리 방법은 크게 물리, 화학적 처리방법과

생물학적 처리방법으로 나눌 수 있으며 물리, 화학적 처리방법은 건설비가 적게 드는 대신 운전비가 많이 들고, 생물학적 처리의 경우에는 건설비가 비싼 대신 운전비가 적게 소요된다. 최근의 경향은 건설비보다는 운전비가 SYSTEM 결정에 더 중요한 FACTOR로 작용하며, 선진외국에서는 생물학적 처리가 어려운 폐수의 경우에도 미생물을 유전공학적으로 변이시켜 처리할 수 있는 방법을 연구 중에 있다. 생물학적 처리의 경우에도 크게 호기성 처리방법과 혐기성 처리방법으로 대별되어 폐수의 농도 및 성상에 따라 SYSTEM을 결정하며 고농도 폐수이면서 혐기성 처리가 곤란한 경우에는 고부하에서 호기성 처리가 가능한 초심층 폭기법, BIOHOCH REACTOR 및 순산소법이 채택되는 것이 바람직하다.

폐수처리 SYSTEM 결정을 한 두가지 FACTOR로 결정하는 것은 경제적 면에서 손해를 야기시킬 가능성이 있으므로 각 폐수처리 SYSTEM에 대해 종합 평가한 후 최종 선택이 따라야 한다고 생각한다. 즉 기술의 적합성 판정은 공사비, 운전비 및 소요부지 면적등에 따라 심사 숙고 하여야 하며, 땅값이 비싼지역, 부지가 근본적으로 부족한 지역에서는 부지를 절감할 수 있는 (지하로 깊이 파거나, 지상으로 올리는 방법) 처리방법을 채택하여야 한다.

환경기술이란 앞에서 언급 했듯이 종합기술이며, 우리나라에서는 최근의 기술이므로 산·학·연의 공동체 의식이 반드시 필요하다고 본다. 특히 환경 기술개발에 염두를 두어야 할 것이 지금까지 화학공학 및 미생물학 등에서 발전한 기술을 최대한 COMBINATION 시키는 노력이 필요할 듯하다. 혐기성 기술 + 호기성 기술의 접목 또는 난분해성 폐수의 경우 전자빔 가속기의 전처리등은 고려 하는 것 자체가 기술개발의 좋은 ITEM이 될 듯하다.