

고농도 식품 산업폐수의 집적형 고도처리 기술 개발 · 실용화

김 이 태

한국건설기술연구원, 국토환경연구부

Application of Compact Advanced Treatment Technology for Concentrated Food Wastewaters

I-Tae Kim

Environmental Research Department, Korea Institute of Construction Technology

1. 연구목적 및 내용

본 연구의 최종 목적은 바실러스 생물막 공정을 이용하여 고농도 식품 산업폐수의 집적형 고도처리 공정 설계기술 및 운전기술을 개발하고 이를 세계 초유의 일류기술로 상용화 하는 것이다. 표 1은 연구의 세부 목표로서 강화되는 수질 환경기준을 만족시킬 수 있는 ① 고효율 처리부분과 부지 및 에너지를 절감하여 기업의 비용부담을 줄이고 생산성을 극대화할 수 있는 ②집적화/저에너지 부분으로 나눌 수 있으며 다음과 같다.

표 1. 연구의 세부 목표

① 고효율처리		② 집적화 · 저에너지	
· 유기물 및 질소, 인	95% 이상	· 소요부지	67% 감소
· 약취물질	동시제거	· 에너지	50% 절감
· 부유물질 및 유해물질	배출허용기준이내 규제기준이내	· 탈수 슬러지 발생량	30% 감량
		· 발생 슬러지	50% 활용

연구내용은 1단계에서 바실러스 생물막 기술성능 검토 및 기초 · 기반연구를 수행하였고, 2단계에서는 파울러 플랜트를 통한 집적화 고도처리 공정 개발 및 개선, 3단계에서는 시범 플랜트를 통한 공정 완성 및 설계 · 운전기술 개발을 하고자 한다.

2. 관련기술의 국내외 동향

식품 산업폐수의 처리는 대부분 재래식 처리기술에 의존하고 있어 생산량증대 시(부지제한 상) 처리 능력 증진이 어렵고 특히 고농도 유기폐수의 경우 약취 발생 등으로 인한 민원 문제가 빈발하고 있어 그 처리의 선진화가 필요한 실정이다. 따라서 효율적이고 경제적이면서도 좁은 공간에 적용가능한 집적형 처리기술을 요구하게 된다. 선진국의 경우에도

규제 강화에 따른 처리수질 개선이 필요하나 단순히 고가의 처리공정을 나열하는 것으로는 실효를 거두지 못하고 있다.

식품폐수 처리에 사용되는 생물학적 고도처리의 국외 공법으로는 A²O, 5-stage Bardenpho, UCT, VIP, SBR 등 다수의 공법 등이 실용화되어 있는 상황이며 이들은 모두 부유성 활성슬러지 플록을 이용하여 혐기, 무산소, 호기조 시설과 슬러지 반송 및 내부반송을 이용하여 유기물과 질소 및 인을 제거하고 있으나, 탈취설비가 필수적이며 시설비 및 유지관리비가 많이 소요되어 경제성이 문제가 되고 있다. 이는 본 연구가 목표로 하고 있는 고효율의 유기물, 질소 · 인, 약취물질 등 오염물 동시제거를 집적형으로 수행하는 기술과는 거리가 있다.

식품 산업폐수의 처리가 대부분 경제적인 생물학적 처리를 사용하고 있다고는 하지만 주정폐수와 같이 고농도의 유기물 뿐만 아니라 고농도의 부유성 고형물을 가지고 있는 경우 혐기와 무산소, 호기 공정의 복잡한 처리 절차를 거치게 된다. 따라서 식품 산업폐수의 처리에서는 주정 폐수와 같이 처리가 어려운 유입원수 성상에도 유연하게 대체할 수 있는 기술이 요구되고 있다.

3. 기술개발 수행현황

본 사업은 2009년 5월까지로 예정된 총 3단계 내에 최종목표 및 세부목표를 실현할 계획에 있으며 각 단계별 연구 · 개발 내용은 1단계에서 2단계 중반까지는 주로 현재까지 바실러스 생물막 공정의 약점으로 지적되어온 기작 구멍 등 연구부분에 더 큰 비중이 있으며 2단계 중반이후 3단계에는 Pilot plant와 시범 plant의 설치 등 개발부분에 더 큰 비중을 두어 연구를 진행하고 있다.

3.1. 연구추진체계

주관기관 : (주)디앤에코(제1주관)-개발기술의 실용화 및 상용화

한양대학교(제2주관) - 처리기작 연구 및 공정개발

E-mail: itkim@kict.re.kr

Tel: 031-910-0301

Fax: 031-910-0291

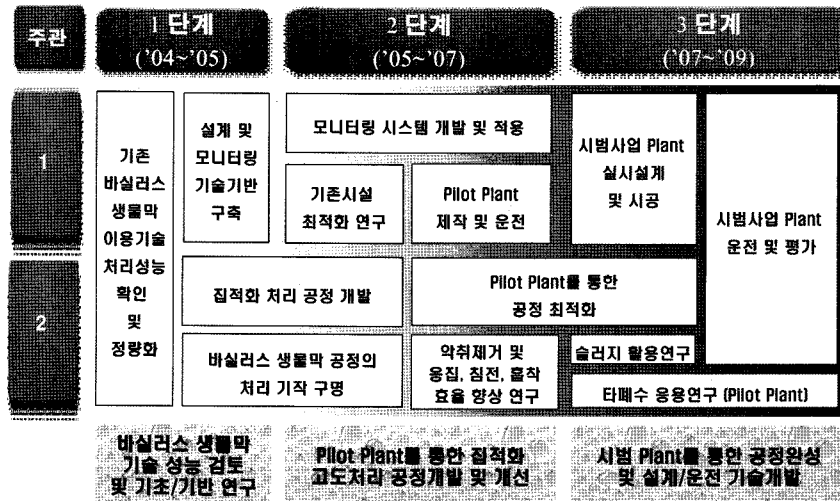


그림 1. 단계별 연구 내용 및 목표.

- 위탁기관 : 한국건설기술연구원- 모니터링 및 설계기술 개발
충북대학교 : 세균군집분석
- ASU : Fundamental mechanisms & modeling
- 공동연구 : 상명대 - 침강성 향상방안
충북대 - 약취제거기작 구명

3.2. 단계별 연구내용 및 목표

현재 기존 현장시설의 면밀한 관찰 및 파일럿 플랜트를 통한 기존 시스템의 최적화 방안 및 집적형 바실러스 생물막 시스템 현장적용 연구와 처리기작에 근거한 시스템의 최적화 연구를 수행하고 있다. 또한 동시에 기존 바실러스 공법의 약취 제어기작 연구 및 침강성 향상방안 연구를 수행하고 있다.

4. 현재까지의 연구 수행결과

제1주관 : 제1주관의 연구는 기존 DnECO공정의 모니터링 및 1톤/일 규모의 파일럿 플랜트운전을 통해 공정별 처리효율을 정량화, 최적화 하고 이를 바탕으로 시스템의 집적화를 위한 설계인자의 도출을 그 내용으로 한다.

■ 현장 공정 모니터링 및 최적화

기존 DnECO 시스템을 적용하고 있는 폐수처리 현장 다섯 곳의 시료를 분석한 결과, 최종 처리수의 COD 제거율이 평균 95%, TN 및 TP 제거율이 각각 95, 87%로 안정적인 처리효율을 보이고 있음을 알 수 있었다. 이 중 고농도 식품폐수(햄·우유공장)에 적용되고 있는 DnECO 시스템(그림 3

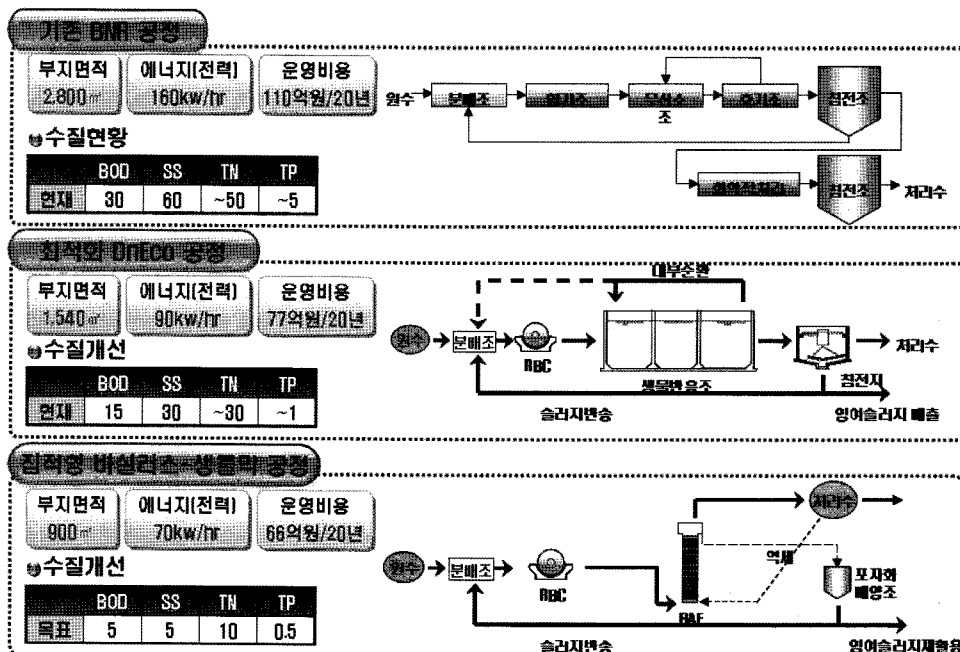


그림 2. 개발기술의 최종 성과물(유입 BOD 2000 mg/L 기준).

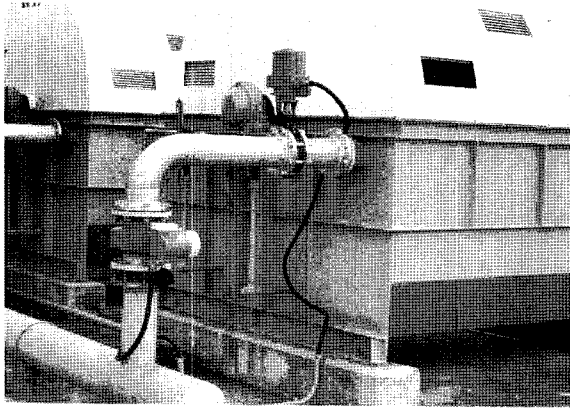


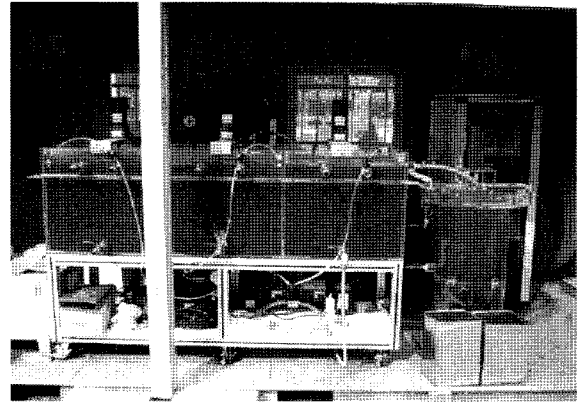
그림 3. (a) DnECO 시스템.

(a)을 대상 공정으로 하여 운전조건 및 처리현황을 모니터링 하고 있다. 이 처리시설의 유입 유기물 농도는 SCOD로 400~900 mg/L로 부하변동이 심한 편이며 유량조정조, 분배조, RBC와 포기조를 순차적으로 통과하여 전체평균 96%의 제거효율을 보이고 있다. 이 중 RBC의 수리학적 체류시간을 17분에서 1시간, 2시간으로 늘리면서 모니터링 한 결과 RBC의 SCOD의 제거효율이 9%에서 52%(1시간), 74%(2시간)로 높아졌고 TN과 TP의 제거효율도 높아지는 것을 확인하였다. 이를 바탕으로 RBC의 기능을 확대하고 후단의 포기조 부하를 획기적으로 감소시키는 방안을 고려하고 있다. 현장시설에 대한 운전 인자의 변동이 용이하지 않으므로 다양한 조건에서 공정별 효율변화를 모니터링 하기 위하여 1톤/일 규모의 파일럿 플랜트(그림 3(b))를 설치하여 안정화 시키고 있다.

■ 실험실규모 공정별 처리능 실험

DnECO 시스템의 RBC공정 처리효율을 알아보기 위하여 부유미생물을 이용한 Jar Test, 생물막 회분식 실험 및 연속 실험을 수행하였다. Jar Test에서는 인공폐수를 이용하여 유기물과 인의 제거 조건으로 암모니아, 질산염, 황산염을 각각 단독으로 주입하여 실험하였다. 유기물의 최종 제거효율은 암모니아의 존재 하에서 93%로 가장 높았으나 반응초기의 제거속도는 질산성 질소를 주입한 경우가 117.5 mg/L-h로 가장 높고 암모니아, 황산염의 순으로 각각 80.5, 36.0 mg/L-h의 제거속도를 얻었다. 인산염의 제거효율 역시 암모니아 존재 시 49%로 가장 높았다. 실제 RBC의 생물막에서 암모니아성 질소의 역할 및 전체 질소제거기작에 대하여 자세히 알아보기 위하여 무산소 및 혐기조건에서 혐기성암모니아산화(ANAMMOX)반응의 여부를 검토한 결과 ANAMMOX 반응의 생성물인 질산성질소의 발생이 관찰되지 않고 암모니아의 제거 역시 저조하여 본 공법의 질소제거기작은 혐기성암모니아산화 보다는 기존의 질산화-탈질 반응 외 암모니아의 부분질산화 후 탈질을 따르거나 암모니아 동화에 의한 직접제거 등의 반응을 거칠 것으로 예상할 수 있었다.

실험실 규모의 RBC를 회분식으로 반복 운전하여 시간에 따른 유기물 및 질소 인 제거기작에 대하여 알아보았다. 유



(b) 1톤/일 규모 파일럿 플랜트.

기물의 경우 24시간 내 유입량의 68%가 제거되고 제거속도는 반응초기 1시간 동안 약 43 g/m²/d까지 증가하였다가 계속 감소하여 3일 후에는 약 1.3 g/m²/d로 지속되었다. UV 흡광도의 차이는 유기물 제거가 활발했던 반응 초 0-1일에 비하여 1-2일에 더욱 뚜렷한 변화를 보이는 것으로 미루어 분자구조가 간단한 유기화합물이나 비교적 분해가 쉬운 물질들이 초기에 우선적으로 제거되고, UV 흡광도를 나타내는 고분자 물질들은 서서히 분해되는 것을 확인할 수 있었다. RBC로 유입되는 유기물 농도를 점차 높여 유입부하를 증가시킨 결과 유입 COD 농도가 100 mg/L 증가할 때마다 약 1.92 g/m²/d로 제거속도도 증가하였고, 유입 COD가 고농도인 경우 접촉여재, 즉 유효미생물의 면적을 증가시켜 더욱 높은 효율을 기대할 수 있을 것이다.

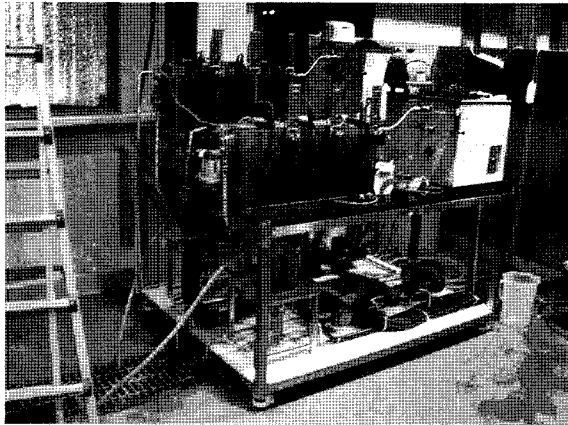
■ 파일럿 플랜트 운전

파일럿 플랜트는 기본적으로 현장 시설의 운전조건을 그대로 따르며 안정화 시키는 중이며 전 공정에서 산소의 농도를 1.0 mg/L보다 낮게 조절하여 바실러스의 생육에 좋은 환경을 제공하고 내/외부 반응비를 1~3Q 정도로 하여 최적의 조건에서 각 공정의 처리효율을 정량화 하게 된다. 또한 RBC와 포기조, 침전조에서 미생물 시료를 취하여 검경법으로 관찰하여 바실러스의 활성화, 포자화와 이에 따른 처리효율의 변동도 확인할 계획이다. 파일럿 플랜트에서 계산된 공정별 처리속도와 미생물 농도, 반응비 등을 이용하여 공정의 직접화에 필요한 설계변수를 도출하게 된다.

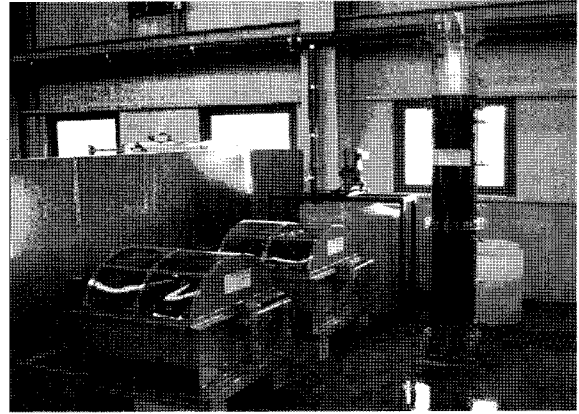
제2주관: 제2주관의 연구는 크게 2가지로 나누어 연구되고 있다. 첫째로 RBC system을 기반으로 한 바실러스 공정의 유기물 및 질소, 인 등의 처리기작을 구명하고, 둘째로 이러한 RBC system에 BAF 공정을 결합한 집적형 처리시스템을 개발, 최적화하는 것이다.

■ 기존공정의 유기물, N, P 동시처리기작 규명

· 바실러스 이용 공정이 일반 활성슬러지 공정에 비해 어떤 장점을 갖는지 알아보기 위하여 두 기의 실험실 규모 반응기에 바실러스 우점 슬러지와 일반 활성슬러지를 각각 집



(a)



(b)

그림 4. 현재 가동 중인 RBC system((a) 실험실 규모 반응기 (b) RBC + BAF system)

중하여 동일한 운전조건에서 DO 농도를 각각 0.5~1 mg/L, DO ≥ 2 mg/L으로 달리 유지하면서 RBC와 생물반응조의 HRT와 유기물 부하(생물막 표면부하)에 따른 COD, N, P 처리 효율 비교 실험을 수행하고 있다.

· 바실러스 이용 공정에서 유기물, N, P 처리기작을 구명하기 위해 반응기 운전뿐만 아니라, 회분식 실험을 통하여 Model 개발에 필요한 인자와 바실러스 슬러지의 kinetic parameter(K_s , K_{DO} , q_{max} , b , Y , μ_{max}) 도출 실험을 수행하고 있다. 바실러스 포자가 우점화된 건조 슬러지와 영양세포로 우점화된 슬러지의 유기물 제거속도를 측정된 결과 영양세포의 경우 일반 활성슬러지와 비교해 유기물 제거 속도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 포자의 경우 약 5시간 가량의 lag time 후 빠른 속도로 유기물이 제거되는 것으로 나타나 바실러스 포자 발아시 급속한 유기물 제거가 가능한 것을 보여주는 것이다.

· 기존 바실러스 이용 공정의 설계인자 및 운전(안)을 제시하고 바실러스 우점화율과 처리 성능의 관계를 구명하기 위하여 주기적으로 미생물 균집을 분석(현미경관찰, DNA 분석) 중이며, HRT, DO농도, RBC-원판 회전속도, 부하, 반응율에 따른 바실러스 우점화율과 공정 효율의 안정성 평가 실험 수행중이다. 현재 HRT, 부하 변화에 따른 실험이 수행중이며, 설계부하 도달 후 DO농도, 원판 회전속도 반응율에 따른 연구 수행 예정이다.

■ 집적형 후속공정의 운전 정상화

본 연구에서는 RBC와 호기성 생물여과공정(Biological Aerated Filter, BAF)을 이용하여 식품폐수 처리시에 각 단위 공정에서의 유기물, 질소 및 인의 처리성능을 파악하고, 바실러스 포자형성을 극대화 할 수 있는 보다 효과적인 운전인자를 밝히고자 하였다.

현재 바실러스가 우점화된 건조슬러지를 각 반응조에 식종한 후 RBC의 DO를 약 0.5~1 mg/L로 운전하고 있으며, 이때 최종유출수의 SCOD_{Cr}의 경우 평균 95% 이상, NH₄⁺-N는 98.3%의 제거효율을 보여주고 있으나 TN의 제거율은 약 73.7%로 나타났으며, 미처리된 질소는 유출수에서 NO₃⁻-N의 형태로 유출되고 있다. 그러나 총질소의 제거율은 전반적으로 세포합성에 사용된 양 이상으로 제거되고 있어, RBC에서의 탈질에 의해 상당부분 제거된 것으로 판단되고 있다.

5. 향후 추진계획

향후 최종 단계에서는 시범 플랜트를 통한 공정완성 및 설계·운전 기술개발하기 위하여 시범사업 플랜트(400 m³/d) 건설, 운전하여 상용화에 성공시키고, 더 나아가 식품폐수 이외에도 타 폐수에도 응용할 수 있도록 설계 및 운전 매뉴얼 작성하고 지적재산권을 획득하여 해외시장을 목표로 보급할 계획이다.

6. 활용방안 및 기대효과

기존시설 모니터링 결과로부터 최적화에 필요한 기초인자를 확보할 수 있으며, 공정의 효율을 평가하여 처리효율 향상방안을 도모할 수 있다. 또한 기존의 축적된 운전방법을 공학적으로 정립함으로써 운전의 표준화를 도모하여 처리의 안정성 및 운전관리 효율화를 이룰 수 있어 공정의 표준화·규격화를 통한 상품화를 용이하게 할 수 있다. 실증 플랜트 운전 검증을 통하여 개발된 기술은 특허 및 신기술 획득 후 상용화되어 국제시장에 나아가 기술수출을 통한 국가경쟁력 향상을 이룰 수 있을 것으로 예상된다.