

고농도 유기성 산업폐수 처리기술 및 실무

〈4〉



신형식

(한국과학기술원 토목공학과 교수)

2.6 UASB 반응조의 향후 활용방안 및 비용평가

고농도 유기성 산업폐수에 대한 UASB 반응조의 적용에는 이미 전절에서 언급하였으며, 본 절에서는 UASB 반응조의 적용성 확대를 위한 기술적 과제와 향후 전망 및 비용평가에 대해 살펴보기로 하자. UASB 반응조는 고농도의 입상슬러지를 반응조내에 보유함으로써 다양한 산업폐수 처리에 전세계적으로 이용될 뿐만 아니라 국내의 경우에도 실험실적 연구가 활발히 진행됨은 물론 주정폐수 등을 처리하기 위해 실제 플랜트가 적용되고 있는 실정이다. 외국의 경우 UASB 반응조의 이용은 고농도 유기성 폐수 이외에도 난분해성 물질을 함유한 폐수 처리 및 탈질조 등으로 이용되고 있으며, 가정하수의 처리 등 그 적용성이 다양화되고 있는 실정이다(Lettinga et al., 1983). 그러나 UASB 반응조의 이와 같은 적용성 확대를 위해서는 다음과 같은 기술적 과제에 대한 보다 많은 연구가 필요한 실정이다.

1) 고온메탄기술의 확립

알콜증류, 식품가공, 펄프폐액 등과 같이 고온의 폐수가 배출되는 경우는 고온 혐기성 소화법에 의한 처리가 효율적이거나, 아직까지는 이분야에 대한 연구의 미흡으로 대부분 중온 혐기성 소화법에 의해 처리되고 있는 실정이다. Wiegant 등에 의하면 sucrose와 알코올 증류폐수에 고온(55°C) UASB 적용시 각각 50kg COD / m³ · d, 84kg COD / m³ · d의 유기물 부하에서 87%와 60%의 유기물 제거효율을 보였으며, 초산과 락토산의 혼합기질에 대해서는 160kg COD / m³ · d의 부하에서 93%의 제거효율을 나타냈다. 고온 UASB 법의 적용의 경우 슬러지의 입상화에도 효과적이며, 메탄균의 비활성도도 중온에 비해 2-4배 정도 높은 4.6-7.4kg CH₄-COD / kg VSS · d의 값을 나타내고 있다. 이러한 고온 UASB법의 적용시는 프로피온산의 분해과정이 율속단계로 작용하는 경우가 많으므로 이상소화공정을 도입하고 메탄반응조에서 발생되는 수소의 분압을 낮게 유지하는 것이 필요하다.

2) 고농도 부유물질, 단백질, 지방 등을 함유한 폐수 처리에의 적용

고농도 부유물질, 단백질, 지방 등을 함유한 폐수의 UASB 적용시 이들 물질은 슬러지 입상화를 저해하므로 안정적이고 효율적인 처리를 위해서는 응집, 부상 등의 전처리나 산형성조의 도입을 통해 저해효과를 저

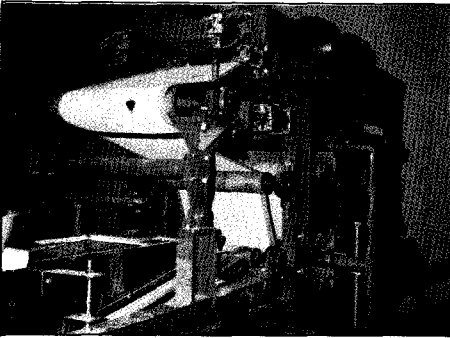
일진

주문생산에서 계획생산으로!
50% 원가절감, 그 이익은 고객으로!

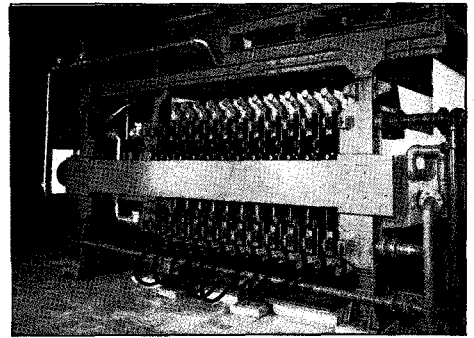
확실히 싸진 일진 탈수기

이런 가격에 이런 제품 구입할 수 있다면 행운!

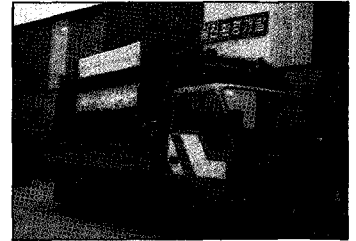
■ 일진 벨트프레스



■ 일진 전자동 휠터프레스



■ 일진 휠터프레스



휠터 프레스는 여과판이 생명

동P·P판으로 가공제작된 여과판

■ 주문생산제로 가격상승 요인이었던 것을 재계획생산으로 원가를 낮추고 소비자의 부담을 덜어 주기 위해 저희 일진 직원은 열심히 계획 생산을 하고 있습니다.
(어떤 모델이든 항상 재고가 있으므로 납기가 즉시가능)

일진 특수 사업

부식되거나 파손되어 누수현상이 심한 여과판 즉시 교체작업 해드립니다.

(여과판 국내 최저가판매)

□ 450 □ 600 □ 650 □ 700 □ 750

□ 800 □ 1,000 □ 1,200

어떤 규격이라도 가능

일진 생산품목

- 일진 벨트 프레스
- 일진 휠터 프레스
- 휠터 프레스용 여과포
- 일진 교반기
- 일진 계측기(PH·ORP METER)
- 휠터 프레스용 여과판

일진 영업품목

- 벨트 프레스용 여과포
- 각종 계측기 및 센서
- 케미칼 정량 주입 펌프
- 슬러지 이송펌프
- 루트 브로워, 원심 펌프, 특수펌프
- 싸이크로 감속기
- 각종 탈수기류 부품도매
- 각종 유량계 도매



일진환경개발
ILJIN ENVIRONMENT DEVELOPMENT CO.

본사·공장 : 경기도 부천시 오정구 오정동 615-1

TEL : (032) 678-2117~9

FAX : (032) 681-1241

화보 · 백두산의 생태
* 사진 · 박창근 제공 *

두만강 푸른물에 한해르 띄어보내고...

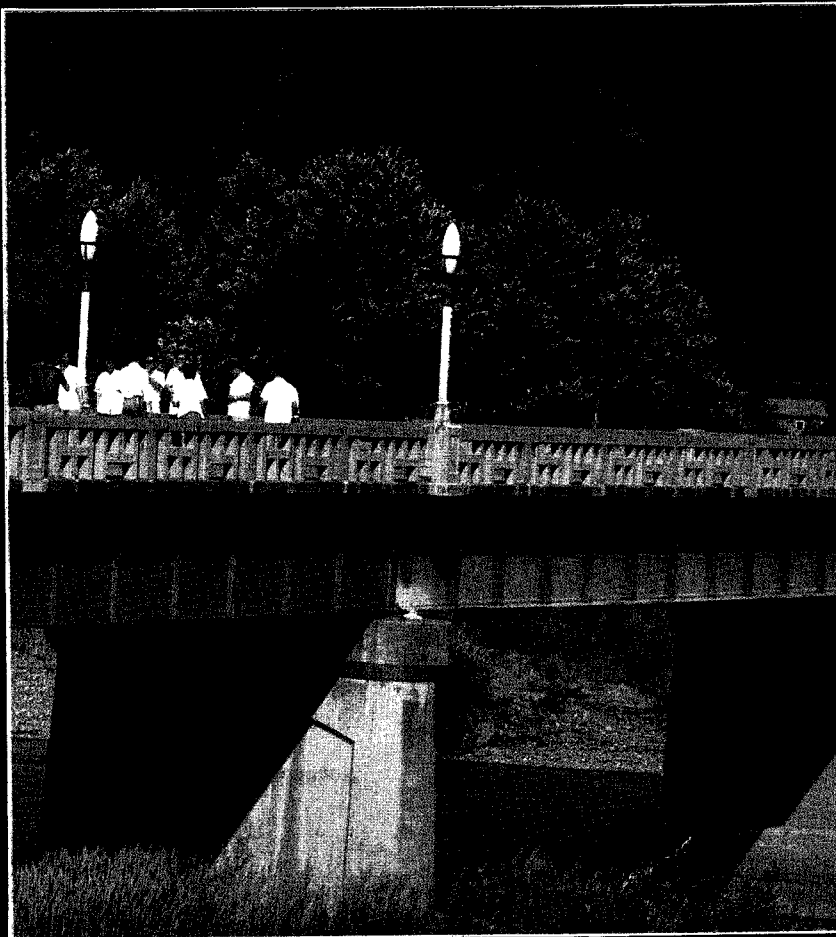
지난 1년간 백두산의 자연생태계를 본회 박창근 고문님의 사진으로 돌아보았다.

최근, 중국 방문이 자유스러워져, 많은 환경인들이 백두산을 탐방하지만, 실제로 백두산을 여유있게, 두루 살펴 보기는 그리 만만치 않다.

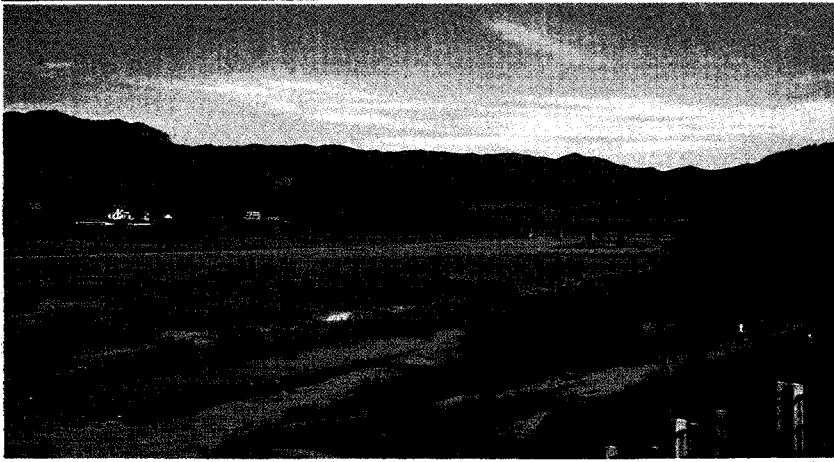
왜냐하면, 시간적 제약과 기상 조건 그리고 숙박 등의 여러 요건이 꼬끼리 다리 만지기 식으로 백두산을 탐방하게 만들기 때문이다. 그런 의미에서 백두산의 여러 생태계를 고루 살펴 본 1년간의 화보는 여러 측면에서 유익했으리라 믿는다.

그 끝 맺음의 화보로 백두산 천지의 물이 흘러 흘러 이르르는 두만강 주변의 경관을 소개한다.

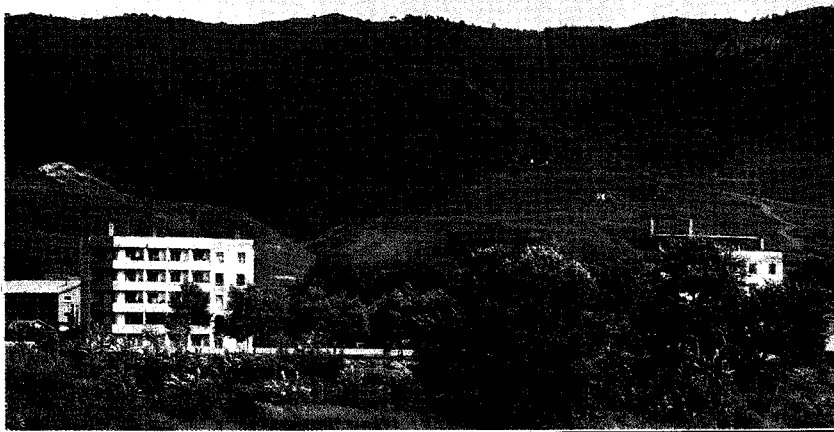
〈편집자 주〉



◀ 북한과 중국을 잇는 두만강 다리로
왼쪽편이 중국쪽이고 오른쪽편이
북한쪽으로 다리의 철로 국경을
구분해 놓고 있다.



◀ 중국쪽에서 두만강 넘어 바라본 북한 땅이다. 인적이 별로 눈에 띄이지 않는다.



◀ 북한쪽 건물에는 사람들이 살지 않는지 인기척이 없고, 구호만이 묵묵히 서 있다.

▶ 두만강 국경을 관리하는 초소겸 세관 건물이다. 중국의 조선족과 북한인들이 이 관문을 통해 오간다.



일진 창립 7주년 기념 · 특별 진 3대 이벤트 행사 실시

1 일진 탈수기의 고유이름을 공모합니다

- 1) 응모요령 : 관제엽서에 일진 탈수기 고유이름을 작명하여 보내면 됩니다.
- 2) 응모자격 : 환경관리인으로 실무에 종사 하는자에 한함.
- 3) 응모기간 : 1995년 2월 28일(우편도착자에 한함)
- 4) 발표 : 1995년 3월 15일(당선자는 개별통보함. 주소, 이름, 전화번호 기재요망)
- 5) 공모내용 : 일진 벨트 프레스 1종목, 일진 필터 프레스 1종목
- 6) 시상내용 : 각 분야별 금상 1명(소나타 II)
은상 2명(엑센트)
총 112명 동상 3명(삼성 무비카메라)
입선 50명(삼성 미놀타카메라)

2 일진 FILTER PRESS 100대에 한해 국내 최초로 파격적인 SALE단행 선착순 판매합니다

※ 일진 FILTER PRESS는 아일수지(주)의 통 P·P여과판만 사용합니다. (하자보증 무한정)

단위 : 천원

용 량	사 양	가 격	용 량	사 양	가 격	용 량	사 양	가 격	용 량	사 양	가 격
1000L	수동유압	2,000	4000L	수동유압	3,500	10,000L	자동유압	12,000	20,000L	자동	20,000
	자동유압	2,500		자동유압	4,000		여판자동				
2000L	수동유압	2,500	6000L	자동유압	6,000	12,000L	◇	14,000	25,000L	자동	25,000
	자동유압	3,000		◇ 여판자동	7,000						
3000L	수동유압	3,000	8000L	자동유압	8,000	15,000L	◇	16,000	30,000L	자동	30,000
	자동유압	3,500		◇ 여판자동	9,000						

3 대 규모적으로 A/S를 실시합니다

- 1) 행사기간 : 1995년 1월 1일부터 12월 31일 1년간
- 2) 대상종목 : 일진 FILTER PRESS 및 일진 BELT PRESS. 기타 타회사 제품도 실시.
- 3) A/S 접수요령 : 현재의 문제점 및 개선요령을 자세히 적어 Fax로 송부.
회사명, 위치, 사용기준, 전화번호, 담당자 이름을 꼭 적어 보내주세요.



일진환경개발
ILJIN ENVIRONMENT DEVELOPMENT CO.

본사·공장 : 경기도 부천시 오정구 오정동 615-1
TEL : (032) 678-2117~9
FAX : (032) 681-1241

감하는 것이 효과적이다. 양돈폐수, potato starch 등과 같이 2,000-3,000mgN/L의 고농도의 암모니아성 질소를 함유하는 폐수의 경우 저해효과가 예상됨으로 주의하여야 한다. 특히 암모니아성 질소에 의한 저해 효과는 비이온화된 암모니아성 질소에 의한 영향이 크므로, pH를 감소시켜 비이온화 암모니아성 질소의 농도를 저감하는 것이 중요하다.

효모 발효액, 알코올 증류폐액, 펄프, 식용유 제조 공장에서 배출되는 폐수에는 고농도의 SO_4^{2-} 이 함유되어 있다. SO_4^{2-} 는 5,000mg/L까지는 미생물에 대한 영향은 미미하나, 반응조내에서의 환원결과 발생하는 황화수소는 pH 6.4-7.2에서는 250mg S/L, pH 7.8-8.0에서는 90mg S/L에서 메탄균의 활성을 50% 감소시키는 것으로 알려져 있다(Koster et al., 89). 그러므로 이상소화의 도입, 희석 및 미생물 순응을 통한 저해물질의 영향 감소, 또는 pH 조절을 통한 저해물질의 감소 방안 등의 방안을 통해 UASB 반응조의 적용성을 확대할 수 있다.

3) 하수 및 생활폐수의 적용

UASB 반응조를 이용한 다양한 폐수처리는 COD 농도 기준으로 1,000mg/L 이상의 경우에는 실용화가 도달하였다. 그러나 하수 등의 저농도 폐수의 UASB 등의 혐기성 공법의 적용은 낮은 메탄수율 및 후처리의 필요성으로 인해 타분야에 비해 연구가 미진하며, 이들 공정이 호기성 처리공정에 대해 경제성을 갖기 위해서는 6-7h의 체류시간에 70% 이상의 COD 제거효율을 달성해야 한다. UASB 공법을 이용한 하수 처리는 낮은 슬러지발생량, 에너지 절감, 적은 부지면적 소요 및 계절적인 운전 가능 등의 다양한 장점에도 불구하고 낮은 유기물 함량으로 인해 슬러지 입상에 필요한 부하(5kg COD/m³·d)를 얻기 위해서는 낮은 수리학적 체류시간을 유지해야 하며, 따라서 반응조내의 산화환원전위가 상승하여 메탄균의 활성 감소를 초래한다. 그리고 저농도 폐수의 경우는 발생하는 가스의 양이 적어 슬러지베드층에서 교반작용이 적어 기질과 미생물의 원활한 접촉이 이루어지지 않으므로 효율저하가 예상되어진다. 그러나 UASB 공법은 다른 혐기성 공법과는 달리 구조가 간단하고, 기계적 설비가 불필요하며 유지관리가 용이함으로 하수처리에서의 적용성은 확대되리라 사료된다. UASB 공법을 통한 하수처리시는 산업폐수처리와는 달리 UASB 반응

조를 설계하여야 하며 아래의 표 18과 표 19는 산업폐수와 가정하수처리시 설계상의 차이점 및 외국의 UASB 반응조를 이용한 하수처리 예를 제시하고 있다.

그리고 표 20은 UASB 반응조의 비용평가를 제시하고 있다.

표 18 산업폐수와 가정하수처리시 UASB 반응조의 설계상의 차이점

산업 폐수	가정 하수
-유기물 부하에 의해 반응조 용량 결정	-수리학적 부하에 의해 반응조 용량 결정
-중중 영양물질과 중화제가 필요함	-필요없음
-중중 전처리로서 산산화 단계가 필요함	-필요없음
-유용한 바이오가스의 실제 발생량이 이론적인 0.35m ³ CH ₄ /kg COD _{in} 에 접근함	-저농도의 폐수, 낮은 반응조 온도로 인해 가스 발생량이 상당히 낮음
-복잡한 공정 제어가 필요함	-공정제어가 간단함
-공정이 실패하는 경우를 대비하여 슬러지 저장 탱크가 필요	-필요없음
-입상슬러지의 증식율이 낮음	-높은 희분함량을 지닌 flocculant 슬러지의 증식율이 큼
-입상슬러지가 필수적임	-식종 (inoculation)을 하지 않고도 3개월 이내에 운전이 가능함

표 19 UASB 반응조를 이용한 가정하수의 처리예

온도 (°C)	수리학적 체류시간 (h)	COD 제거효율 (%)	BOD 제거효율 (%)	메탄 발생량 Nm ³ /kgCOD _{in}	슬러지 발생량 kg TS/kg COD _{in}
네덜란드					
9-10	8	30	40-45	0.05	0.27
11-12	8	30-50	45-60	0.09	0.17
14-20	8	50-60	60-75	0.13	0.20
콜롬비아					
24-26	2.5-6	65-75	80-85	0.10	0.8

표 20 UASB 반응조를 이용한 혐기성 처리시의 대략적인 비용평가

가정	
COD부하	-10~15kg COD/m ³ /day
처리효율	-90% COD 감소
메탄수율	-0.9kg COD 메탄/kg COD _m
메탄 발생량(m ³ /m ³ /y)	-1,500(부하: 15kg COD/m ³ /day) 1,000(부하: 10kg COD/m ³ /day)
이자 및 감가상각	-자본비의 15%

가정		
유지보수비	- 자본비의 2%	
에너지 요구량	- 메탄 발생량의 10%	
투자비용	- 1,000m ³ plant - \$500,000 - 750,000 5,000m ³ plant - \$2,000,000 - 3,000,000	
운전비용 (in \$ 1,000 X)		
I. 연속운전 (365day / y, 24h / day)	1,000m ³ plant	5,000m ³ plant
이자 및 감가상각	75-112.5	300-450
유지보수비	10-15	40-60
노동+관리	15	40
분석+제어	15	40
총 비용	115-147.5	420-590
메탄가스 비용(\$ / m ³ STP)		
1. 부하 : 15kg COD / m ³ / day	0.08-0.105	0.06-0.085
2. 부하 : 10kg COD / m ³ / day	0.125-0.160	0.09-0.125
II. 계절적인 운전 (3month / y, 24h / day)	1,000m ³ plant	5,000m ³ plant
이자 및 감가상각	75-112.5	300-450
유지보수비	3-5	15-20
노동+관리	5	15
분석+제어	5	15
총 비용	88-127.5	335-500
메탄가스 비용(\$ / m ³ STP)		
1. 부하 : 15kg COD / m ³ / day	0.25-0.36	0.19-0.29
2. 부하 : 10kg COD / m ³ / day	0.38-0.55	0.29-0.43

3. 결 론

급속한 경제발전과 인구의 증가는 폐수의 양적 증가와 질적 다양화를 초래하였으며, 이의 효과적인 처리는 당면한 과제로 인식되고 있다. 적절히 처리되지 않고 방류되는 폐수는 하천, 호수, 해양 등의 수자원을 오염시켜 수자원의 부족현상 및 이의 처리에 소요되는 막대한 비용으로 인하여 국가경제적 손실뿐만 아니라 국민복지 및 산업경제 측면에서도 막대한 영향을 미치고 있다.

산업체에서 발생하는 폐수는 각종 유기오염 물질 및 무기물을 함유하고 있으며, 고도산업화과정에서 발생된 각종 합성물질은 기존의 처리방법으로는 적절한 처리에 어려움이 있는 실정이다. 그리고 향후 오염물의 배출기준 강화 등으로 인하여 처리시설의 개선 및 기존 처리공정의 효율적인 운영이 필요하다. 지금까지

대부분의 산업폐수 처리에는 end of pipe 개념의 처리방안에 주안점을 두었으나, 이러한 처리방안은 비경제적이며 비생산적인 면을 지니고 있다. 그러므로 향후 산업폐수의 처리방안은 Zero discharge 개념을 도입하여 공정개선을 통한 유용자원의 회수와 오염발생원을 최소화하는 청정기술(Clean technology) 개념으로 개선되어야 할 것이다. 즉 과거에는 경제발전과 환경보존을 대립관계로 인식하였으나, 최근 환경에 관한 인식전환과 각종 규제 및 국가간의 환경협약으로 인하여 경제발전과 환경보호는 상호보완적인 의미를 가지게 되었으며, 기업측면에서도 경제성 향상을 위해 보다 효율적이고 안정적인 폐수처리방안을 도입할 필요성이 증가되고 있다.

이러한 목적을 달성하기 위해서는 폐수처리장의 설계 및 시공 담당자와 환경관리인 모두가 제조공정의 정확한 이해와 처리공정에 관한 폭넓은 지식 및 끊임 없는 관심과 노력을 경주하여야 한다.

참고문헌

- '91폐수 배출시설 조사보고서, 환경처, 1992
- 한국과학기술원, "실무자를 위한 폐수처리 현장기술", 1994
- 한국환경연감, 환경처, 1993
- 국립환경연구원, "폐수배출시설 표준원단위 조사연구(I)", (1987)
- 국립환경연구원, "폐수배출시설 표준원단위 조사연구(II)", (1988)
- 이재완, "폐수처리 시설 설계 요령(1), 첨단환경기술", 1993
- Campbell, J. C., and Joyce, T. W., "Investigation of the Potential of an Enzymatic Treatment of Pulp and Paper Mill Effluent to Facilitate Decolorization by Lime Precipitation" Proc. of the 38th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., pp. 67-83, 1983
- Dagger, G. T., and Buttz, J. A., "Upgrading Wastewater Treatment Plant", Technomic Company Inc., 1992
- de Zeeuw, W., "Acclimation of Anaerobic Sludge for UASB Reactors Start-up" Ph.D. Thesis, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 1984
- de Zeeuw, W., "Granular Sludge in UASB Reactors" In

- : Proceedings of the GASMAT Workshop, Lunteren, The Netherlands, pp. 132-145, 1988
- Gujer, W., and Zehnder, J. B., "Conversion Process in Anaerobic Digester", *Wat. Sci. Tech.*, 1983
- Henze, M., and Harremoes, P., "Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors(A Literature Review)", *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 15, pp. 1-101, 1983
- Hulshoff Pol, L. W., Deeuw, W. J., Ve; zeboer, C. T. M., and Lettinga, G., "Granulation in UASB Reactors", *Wat. Sci. Tech.*, Copenhagen, pp. 291-304, 1983
- Kosaric, N., Blaszczyk, R., Orphan, L., and Valladares, J., "The Characteristics of Granules from Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors" *Water Research*, Vol. 25, No. 12, pp. 1473-1477, 1990
- Koster, I. W., Rinzema, A., de Vegt, A. L., and Lettinga, G., "Sulfide Inhibition on the Methanogenic Activity of Granular Sludge at Various pH Levels", *Wat. Res.*, 20, 1561, 1986
- Lettinga, G., Roersna, R., and Grin, P., "Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage at Ambient Temperature using a Granular Bed UASB Reactor", *Biotech. and Bioeng.*, pp. 1701-1721, 1983
- Lettinga, G., and Hulshoff Pol, L., "Advanced Reactor Design, Operation and Economy" *Wat. Sci. Tech.*, 18, pp. 99-108, 1986
- Lettinga, G. and Hulshoff Pol, L., "UASB Process Design for Various Types of Wastewaters" *Wat. Sci. Tech.*, 24, pp. 87-107, 1991
- Paques Basic Technical and Technological Information Manual, 1989
- Samson, R., van den Berg, B., Peters, R., and Hade, C., "Dairy Waste Treatment Using Industrial-scale Fixed Film and Upflow Sludge Bed Anaerobic Digester : Design and Start-up Experience" In : Proceedings of the 39th Industrial Wastewater Conference, Purdue University, pp. 235-241, 1984
- Sax, R.I., "Anaerobic Pretreatment of Brewery Wastewater on the Industrial Scale" In : Proceedings of the 40 Industrial Wastewater Conference, Purdue University, pp. 59-68, 1985
- Sayed, S., De Zeeuw, W., and Lettinga, G., "Anaerobic Treatment of Slaughterhouse Waste Using a Flocculent UASB Reactor" *Agricultural Wastes*, 11, pp. 197-226, 1984
- Shin, H.S., Bae, B.U. and Oh, S.E., Preservation Characteristics of Anaerobic Granular Sludges. *Biotechnology Letters*, Vol. 15, No. 5, pp. 537-542, 1993
- Smith, P. H., and Mah, R. A., "Kinetic of Acetate Metabolism During Sludge Digestion", *App. Micro.*, Vol. 14, pp. 368-371, 1966
- Souza, M.E., "Criteria for the Utilization, Design and Operation of UASB Reactors" *Wat. Sci. Tech.*, 18, 12, pp. 55-69, 1986
- Wu, W.M., Hu, J.C. and Gu, X.S., "Properties of Granular Sludge in Upflow Anaerobic Sludge Blanket(UASB) Reactors and Its Formation" In : *Anaerobic Digestion 1985*, pp. 339-350, Guangzhou, China, 1985
- Wiegant, W. M., "Thermophilic Anaerobic Wastewater Treatment", *EWPCA Conf. on Anaerobic Treatment*, 115, Sep., Amsterdam, 1986
- Wiegant, W. M., and de Man, A. W. A., "ranulation of Biomass in Thermophilic Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors Treating Acidified Wastewaters", *Biotech. and Bioeng.*, 28, 718, 1986 ◀

환경오염 내일없고 오염방지 계절없다