

## 축산폐수의 효율적 처리기술 개발 Development of Effective Treatment Technology of Livestock wastewater

조웅현<sup>1</sup>, 원찬희<sup>2</sup>, 송경선<sup>3</sup>  
Woong Hyun Cho<sup>1</sup>, Chan Hee Won<sup>2</sup>, Kyung Seon Song<sup>3</sup>

### 1. 서 론

가축 사육시설에서 배출되는 축산폐수는 도시하수와 달리 발생량에 비해 오염부하량이 대단히 크므로 수질오염의 주범일 뿐만 아니라 처리에도 어려움이 많아 축산폐수를 수거하여 전문적으로 처리하는 공동처리장에서도 현재 만족 할만한 처리효과를 기대하기 힘든 처지에 있다.

따라서 인근 하천등에 방류되는 축산폐수는 혐오감과 함께 수질오염을 가중시키고 있는데, 축산폐수의 처리에 있어서 현재 문제가 되는 부분은 BOD (COD), 영양염(질소, 인), 색도 등의 3가지로 볼 수 있다. 특히 축산폐수는 영양염류인 질소 및 인의 농도가 매우 높아 호소의 부영양화 현상을 가중시키는 것으로 널리 알려져 있다.

따라서 새만금호의 오염을 미연에 방지하기 위해서는 앞으로 면단위 소규모 도시하수처리장 건설과 함께 축산폐수 문제 해결이 시급하며, 특히 축산폐수의 처리에는 우리나라 축산농가의 실정을 고려하여 경제성과 효율성이 우선되어야 한다. 이러한 점에서 수천 내지 2만ppm 이상의 매우 높은 BOD나 COD를 현행 배출기준에 적합하게 처리하거나 또는 COD등의 유기물이 분해되지 않는 기법이나 질소와 인 등의 영양염을 현행 도시하수처리장 방출수의 기준 이내로 낮추는 기법의 개발과 또한 확실한 소규모 도시하수처리기법

의 개발이 요구된다.

본 연구는 가장 효율적인 축산폐수처리방법을 밝히고 필요한 기술을 개발하고자 하는 것으로 축산폐수원액을 저류시킨 후 미세스크린으로 부유입자를 최대한 제거하고 약품응집후 상중수를 오존처리하여 일부의 난분해성 유기물과 색도를 제거하거나 미생물에 의해 분해가능한 물질로 변환시킨다음 활성슬러지 변법인 산화구식 토양처리장치에 적용코자 하는 것이다. 여기서는 각 단위공정별로 처리특성을 분석 제시함으로써 부분적인 처리결과를 파악하고 이를 최적 system으로 연결함으로써 효율적인 구도를 제시하고자 하였다.

### 2. 자료 및 방법

본 연구에서는 물리, 화학, 생물학적 방법을 통해 현 기존 축산폐수처리장이 10단계 이상의 공정을 동원하여 처리하는 시스템을 5-6단계로 축소하려는 의도에서 미세스크린, 약품응집, 오존처리, 활성슬러지변법인 포기식토양처리 등에 주안점을 두었다.

여기서 시료는 도내 축산폐수처리장에서 채취하였으며, 시료보관은 실험실에서 일정기간 냉장저류시켰다.

공정중 미세스크린은 표준망체(0.026mm,

<sup>1</sup> 군산대학교 토목환경공학부(School of Civil and Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea)

<sup>2</sup> 전북대학교 토목환경공학부(School of Civil and Environmental Engineering, Junbuk National University, Jeonju 561-756, Korea)

<sup>3</sup> 호일엔지니어링(Hoil Engineering Co., Iksan 570-950, Korea)

0.35mm)를 이용하였고 약품응집실험은 염화제2철과 zeolite에 의한 jar test로, 오존처리는 오존발생장치에 acryl-column contactor를 제작 사용하였다.

COD 등 각 항목의 분석방법은 환경부제정 수질오염공정시험법에 의하였으며, BOD는 기기로서 OxiTop(WTW, Control-12type, Germany)을 병용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 축산폐수의 성상분석

수거식 축산폐수는 축산농가에서 운반해 올 때 보편적으로 부유협잡물이 많고 BOD도 20,000mg/l를 넘는게 보통이다. 이러한 수거 축산폐수는 처리장에서 조대스크린을 통해 협잡물이나 조대입자가 1차로 제거되며 이후 저류조로 이송된다. 이 저류조에 갓 들어온 폐수를 채취하여 분석한 결과는 다음의 Table 1과 같다.

여기서 BOD는 평균 12,850mg/l로 나타났으며 COD는 7,870mg/l로서 BOD에 비해 61.2% 정도의 낮은 값을 보였다. T-N과 T-P는 평균 2,820mg/l와 223mg/l로서 T-N이 10배 이상 높았으며, pH는 평균 7.87로서 약한 알카리성을 나타냈다.

Table 1. Characteristics of livestock waste water (After coarse screen)

No.	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	pH	Remark
1	12,850	7,860	42,400	2,915	224	7.8	
2	13,060	8,110	43,050	2,805	210	7.8	"K"치
3	12,640	7,640	44,270	2,740	235	8.0	리장
mean	12,850	7,870	43,240	2,820	223	7.87	

#### 3.2 축산폐수의 응집실험

응집제는 alum과 염화제2철을 비교실험 하였으며 알카리제로는 일반적으로 석회나 가성소다를 주입하나 염화제2철이 alum 보다는 양호한 반응을 보임에 따라 이를 주 응집제로 사용하였다.

축산폐수에는 일반적으로 알카리도가 4,000 ppm(as CaCO<sub>3</sub>) 정도로 매우 높은 것으로 알려져 있어 본실험에서는 석회 등의 알카리제는 별도로 주입하지 않았으며, 석회를 주입함에 따른 침전 슬러지의 증가는 상대적으로 상중수의 양을 감소시킴으로서 바람직하지 않았다.

염화제2철의 특징은 응집 적정범위가 pH 4.0-11.0으로 매우 넓고 알카리영역에서도 floc이 용해하지 않으며, floc이 무거워 침강속도가 크다는점, 탈색성이 있어 색도제거에 유효하며, 황화수소의 제거가 가능하다는 것 등으로 알려져 있다.

본 연구에서 사용한 응집제는 (FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O)로서 분말상의 약품을 1000ppm-5000ppm으로 용해시킨 것이다.

Fig. 1은 응집제 주입량에 따른 상중수의 BOD와 COD 변화를 나타낸 것인데 주입량을 10,000mg/l에서 20,000mg/l까지 증가시킴에 따라 처음 10,000mg/l 정도의 BOD가 2,000mg/l 이하로 감소함을 알수 있었고 BOD와 COD의 차이도 비슷함을 보였다. 다만 이때의 상중수량은 매우 적어 실용성이 전혀 없는 것으로 확인되었다.

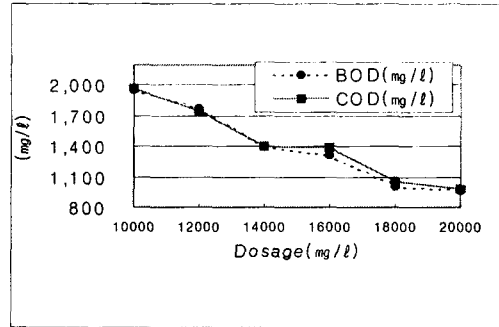


Fig. 1. Effect of BOD & COD by coagulant FeCl<sub>3</sub> dosage

Fig. 2는 상중수의 SS를 측정 한 것이며 처음 38,000mg/l - 40,000mg/l 정도의 SS가 200mg/l 이하로 감소하였다. T-N도 SS가 감소함에 따라 Fig. 3에 도시된 바와 같이 2,700mg/l 전후의 농도가 2,500mg/l 정도로 약간 낮아졌으며, T-P는 200mg/l에서 11mg/l 전후로 크게 감소함으로써 95%정도가 제거되었다.

상중수량이 매우 적다는 단점을 보완하기 위해 분말zeolite를 주입한 결과는 Fig. 5 - Fig. 8과 같았다. 이때 염화제2철의 농도는 대체적으로 14,000mg/l에서 초기 오염도 감소가 이루어지는 점을 이용하여 14,000mg/l로 고정하고 zeolite량을 변화시켰는데 BOD는 zeolite 투입량을 14,000mg/l로 하였을 때 1,000mg/l 전후의 농도를 보임으로서 염화제2철 20,000mg/l 주입효과와 비슷한 효과를 보였고 동일 응집제 주입시보다는

400mg/l 정도의 BOD감소를 보였다. 그러나 zeolite의 주입목적은 응집제의 주입량 감소나 BOD물질의 산화분해효과와 동시에 상중수량을 증가시키는데 있었으며 이의 효과는 응집제 단독주입시 보다는 크게 향상되었다. 따라서 jar test 결과로 볼때 이때의 상중수 생성비율은 20%-25%에 불과하므로 축산폐수의 1차적 처리목표는 SS 제거에 있다고 할수 있다. 이러한 상중수 생성비율은 실용상 의미가 없으며 상중수가 비록 깨끗하다 하더라도 수량적인 제한을 받음으로 미리 SS를 제거하는 공정이 요구된다 하겠다.

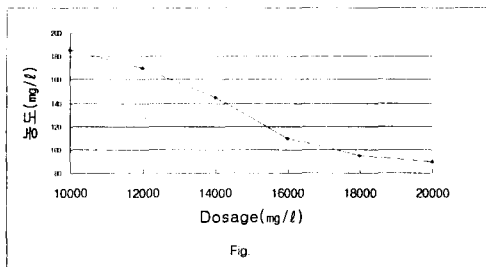


Fig. 2. SS concentration along the coagulant dosage

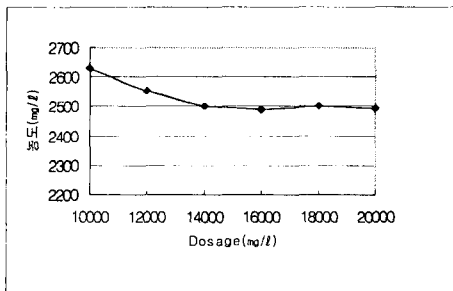


Fig. 3. T-N concentration along the coagulant dosage

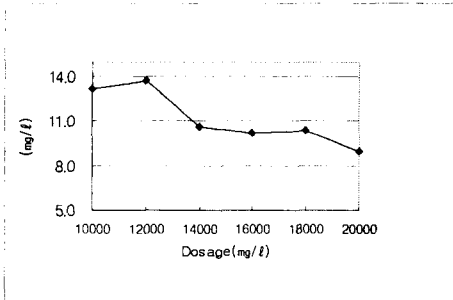


Fig. 4. T-P concentration along the coagulant dosage(FeCl3)

이에 대한 해결을 위해 처리업체에서는 다음과 같은 공정을 두고 있는데 즉, 종합협잡물 제거기 - 저류조 - 1차 가압부상조(염화제2철 + 고분자 응집제 + 프레스 탈수기) - 1,2차 탈질/질화조 - 침전조의 순이다. 이러한 공정을 거치면 침전지 유출수의 COD는 690mg/l 정도로 감소하고 미세한 콜로이드성 현탁액으로 변환되는데 이를 대상으로 응집제를 넣어 교반실험을 하면 염화제2철 1000ppm으로 상중수 비율 52%를 얻을 수 있었고, 2000ppm 주입으로 62%를 얻을 수 있었다. 따라서 염화제2철 2000ppm 주입 후 여기에 zeolite 대신 황도분말(74μ 체 통과분)3g/l를 주입한 결과 상중수 비율 72%를 얻을 수 있었다. 따라서 상중수 생성비율을 10% 정도 높이기 위해서는 황도분말 주입도 고려해 볼 필요가 있었다.

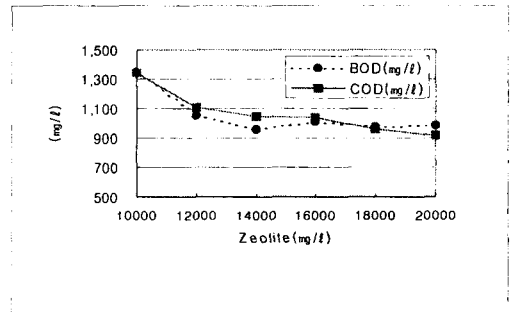


Fig. 5. Coagulation effect by FeCl3 with zeolite dosage

다음의 Table 2는 상기 1차침전조 유출수에 대한 응집효과를 나타낸 것이다. 여기에서 COD와 색도는 UF공정을 거친 시료보다 양질의 수질을 나타내는 것으로 분석되었으며, 참고로 동 시료에 대한 UF 통과수의 COD는 280mg/l 로 측정되었다.

Table 2. Portion of supernatant After chemical coagulation with loess dosage from primary clarifier effluent (FeCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O 2000 mg/l)

	Primary Water	Dosage of loess(g/l)					
		0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Color (degree)	920	310	244	281	220	232	308
COD (mg/l)	690	285	205	210	200	205	225
Portion (%)	0	62.0	66.2	68.1	72.0	72.2	72.0

한편 축산폐수의 CODMn과 CODCr의 비율은 2.25로 CODCr 값이 2.25배 높게 분석되었으며, 본 연구에서는 국내기준상 CODMn을 COD로 취급하였다.

한편 상중수의 SS는 Fig. 6과 같이 나타났으며 zeolite 14000mg/1주입에서 40mg/1를 기대할 수 있었고, 특히 T-P는 그림 8과 같이 6mg/1의 낮은 농도를 보임으로서 응집침전반응시 공침효과가 매우 큼을 알 수 있었다.

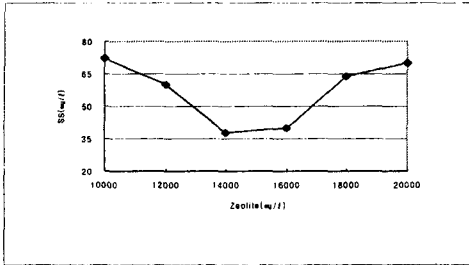


Fig. 6. SS concentration by FeCl3 with zeolite dosage

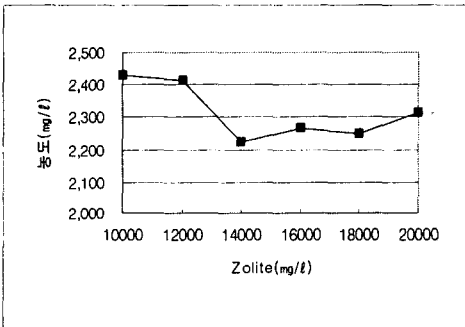


Fig. 7. T-N concentration by FeCl3 with zeolite dosage

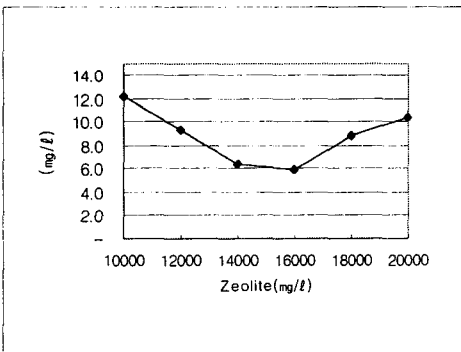


Fig. 8. T-P concentration by FeCl3 with zeolite dosage

### 3.3 Ozone처리에 의한 제거효과

오존은 수처리 산화제 중에서 산화전위가 2.07V로 가장 크며, 대부분의 유기물을 산화시키는 것으로 잘 알려져 있다. 그러나 어떤 일부의 유기물과는 전혀 반응을 하지않거나 느리게 반응하며, 유기물과 직접반응 또는 알카리영역에서 OH radical의 생성에 의한 간접반응으로 나눌 수 있는데 간접반응시에 비선택적으로 빠른 분해속도를 기대할 수 있다.

지금까지 알려진 오존의 효과는 살균과 THM, TOH 파괴 외에 색도제거, 악취물질 및 페놀류 산화, 유기물의 생분해성 유도, 응집작용 등으로 알려져 있다. 여기서 오존의 응집효과는 Damez (1979)등 여러 학자에 의해 오존처리중 floc이 생성되었다는 보고에 근거한 것인데 후에 Colin (1982) 등은 효과가 없다는 주장도 있어 상반된 결과가 되어있다. 폐수시료를 오존 접촉조에 넣어(Ozone 4%주입) 순환식으로 산화시킨 결과는 다음과 같다.

Table 3은 I 축산폐수처리장의 1차침전지 유출수를 약품응집처리하여 상중수를 얻은 후 오존처리한 결과이다. 여기서 BOD는 상중수의 58.3mg/l에서 30분 접촉후 70.8mg/l로 21%정도의 증가효과를 얻었으며, COD는 처음 160.4mg/l에서 152mg/l로 5.2% 제거효과를 나타내 BOD와 상당한 차이가 있었다. 그러나 색도는 처음 125도(비교: UF 통과 유출수는 375-470도)에서 30분후 39도로 68.8% 감소함으로서 큰 효과가 있었다. 이는 오염도가 큰 폐수시료의 경우와는 달리 낮은 오염도에서 오존의 효과가 있음을 의미하며 따라서 축산폐수의 오존처리는 고품질함량을 충분히 낮춘 후 실시하는 것이 바람직함을 나타냈다.

Table 3. Effect of ozonizing from the supernatant of chemical coagulation (FeCl3 3,000mg/l)

Item	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	Color (degree)
Contact			
0 (min)	58.3	160.4	125
10	62.3	156.2	98
20	67.8	153.8	61
30	70.8	152.0	39

### 3.4 미세여과후의 응집반응

폐수시료를 미세망(0.026mm, 0.035mm)에 거른후 오염도분석한 결과는 다음의 Table 4와 같았다. 여기서 SS가 제거됨으로서 유기물과 그밖의 항목

들이 큰 영향을 받았으며 이로부터 SS제거는 축산폐수의 선결조건임을 알수있었다.

특히 표에서 망목 0.035mm와 0.026mm는 제거율 면에서 상당한 차이가 있었으나 세망목일수록 여과시간이 길어 운용상 연구가 좀더 필요할 것으로 보였다.

Table 4. Effect of microstraining to the livestock wastewater

	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)
Primary water	12,540	7,480	43,050	2,690	238
0.035mm (Sieve)	7,860	4,810	28,420	1,675	205
0.026mm (Sieve)	3,950	2,740	4,920	920	134
Removal (%)					
0.035mm	37.3	35.7	34.0	37.7	13.9
0.026mm	68.5	63.4	88.6	65.8	43.7

한편 미세여과후 응집반응실험한 결과는 다음의 Fig.9-11과 같았다. 여기서 응집반응은 침전효과를 향상시키기 위해 전술한 zeolite를 변화시켜 투입하였으며 부유입자량이 감소한 만큼 염화제2철과 zeolite의 사용량도 감소시켰다.

Fig.9는 염화제2철을 10,000mg/l로 고정하고 zeolite를 5,000mg/l부터 투입한 것이다. 이때의 BOD와 COD는 zeolite 투입량 9,000mg/l에서 800mg/l 정도까지 감소하는 것으로 나타났고, SS는 30-40mg/l로 감소하였다. 특히 T-P는 5 - 6 mg/l까지 감소함으로써 비교적 양호한 결과를 나타냈다.

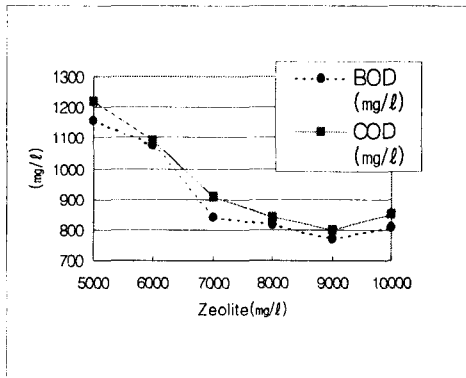


Fig. 9. Chemical coagulation effect after microstraining(0.026mm)

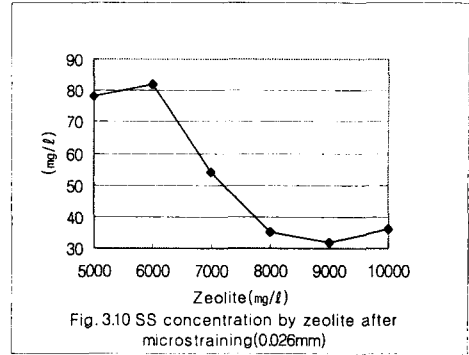


Fig. 10. SS concentration by zeolite after microstraining(0.026mm)

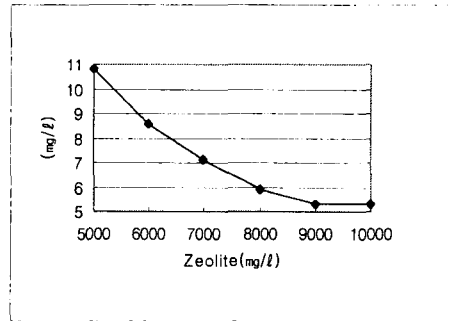


Fig. 11. T-P concentration by zeolite after microstraining(0.026mm)

### 3.5 질소제거

축산폐수중의 질소는 2,800mg/l 전후의 높은 농도이며, 질소 제거에 관한 연구도 실험실 차원에서 여러사람으로부터 다각도로 진행되어 왔다.

대략적인 제거 구도는 질산화-탈질화가 근간을 이루고 있는데 Borton(1992)등은 Anoxic 1, Oxid 1, Anoxic 2, Oxid 2, 침전방식으로 T-N 93%를 제거했으며, Cintoli(1995)는 돈사폐수의 COD/N 비의 향상을 위하여 zeolite를 이용하여 이온교환에 의한 NH<sub>4</sub>-N을 제거한 후 주 처리공정인 UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket) 및 산화조 공정을 거쳐 질소를 제거하였는데 90%의 T-N을 제거한 것으로 보고되어 있다. 여기서 보는 바와 같이 질소 제거가 최근에 90% 이상 달성되는 것으로 발표되고 있으나 축산폐수의 총질소가 3000mg/l에 육박하는 처지에서는 불과 5%의 질소가 처리수에 150mg/l를 함유하고 있다는데 현실적인 문제가 있어 배출기준 60mg/l에는 크게 미치지 못함을 직시해야 한다. 본 연구에서는 시료를 채취한 1 처리장에서 1- 2차 탈질 질화

후의 1차침전조를 통과한 시료(T-N 1800mg/l 전후)에 대해 응집침전과, 오존처리, 포기식토양처리(ODSF)를 거침으로서 기준치 60mg/l 이하의 처리수를 얻을 수 있었다. 여기서 T-N은 응집침전시 고행물이 침전 제거됨에 따라 상층수에는 290-300mg/l 정도로 감소되었으며 따라서 고행물(교질 및 현탁부유물)의 사전 제거는 BOD 등의 유기물제거와 밀접한 연관이 있음과 동시에 총질소의 제거와도 유사한 결과를 나타내는 것으로 판단되었다.

### 3.6 포기식 토양처리

포기식 토양처리법은 토양미생물의 유기물 분해능력을 이용함과 토양의 여과기능 그리고 토양내부의 혐기성기작에 의한 탈질효과를 동시에 노린 방법이다. 이러한 기작은 이미 조(1988)에 의하여 확인 되었으나 문제점으로 사질토양 표면에 자리잡은 미생물막이 운용시간에 따라 비대해지면서 처리수량이 매우 감소한다는 것과 여층내부의 가스에 의한 폐색이다. 따라서 이러한 문제점을 제거하기 위해서는 표면 매생물막이 형성되지 못하도록 산화구의 rotor를 가동시키고 내부 가스에 의한 폐색은 하부 집수조의 배출구를 일시 차단하여 공기압에 의한 체류가스 분출로 회복할 수 있다. 또한 만약의 운용상 문제점에 대비하여 2way system으로 연속처리가 이어지도록 제작하였다.

이 장치의 토양매디아는 처리수량의 확보를 위하여 어느정도 투수성이 좋은 모래를 채웠으며 이 모래의 유효경(ES)과 균등계수(UC)는 각각 0.08mm, 3.38로서 완속사여과재에서 사용하는 ES 0.3-0.45, UC 2.0 이하보다 치밀한 것이다. 또한 rotor는 100rpm으로 가동하여 길이 1.6m의 타원형 ditch를 충분히 혼합과 산소가 전달되도록 하였다.

이 장치의 표면적은 0.39m<sup>2</sup>, 유효수심은 18cm로, 응집침전시의 상층수에 오존처리 10분후 시료주입을 0.15kgCOD/kgMLSS-day로 하였다. 이에 관한 실험은 장기간 계속되어야 할 것이나 그간의 몇번에 걸친 처리결과에서는 COD 30mg/l이하, 질소는 40-57mg/l로 기준치 60mg/l를 만족시켰다.

## 4. 결론

상기한 바와 같이 축산폐수는 고액분리가 쉽지 않지만 고액분리가 우선적으로 요구되며 이후에

여러 가지 공정을 거치는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

여기서 여러 가지 기본실험을 수행한 것은 나름대로 공정에 따른 특성과악과 기초자료를 얻기 위한 것이었으며, 신뢰성 있는 자료를 위해 지속적인 보완 실험이 따라야 할 것이다. 또한 이들간 system 구성이 무엇보다도 중요한데 특히 미세스크린에 이어 탈질-질화과정, 1차침전, 약품응집과 오존처리, 활성슬러지법(포기식 토양처리)으로 이어지는 system은 효율적 처리의 최적구도로 판단되었으며, 필요시 질소가 부족한 제지폐수와 혼합처리하는 방안도 실험적 검토 가치가 있을 것으로 보였다. 중요한 것은 기존 축산폐수처리장에서 시행하고 있는 10단계 이상의 공정을 최대한 줄여 6단계 이하로 간소화 함으로서 처리효과와 경제성을 살리는 데 있으며 특별한 고가 시설이나 고가의 특수약품을 사용하지 않고 염화제 2철 등의 응집제 활용으로 기대수준의 처리효과를 보임으로서 본 연구에서 이에 대한 효율적처리 가능성을 제시코자 하였다.

## 사 사

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 및 전라북도 지원 군산대학교 새만금환경연구센터의 연구비 지원에 의한 것입니다.

## 참고문헌

- 수질오염공정시험방법, 동화기술, 1999
- 신정래, 수처리약품, 동화기술, p32-33, 1995
- 조용현, 금속토사침투법에 의한 폐수처리특성과 운용에 관한 연구, 학위논문, 1988
- 현미희, 고농도 축산폐수 처리시 영양염류의 거동과 미생물 특성에 관한 연구, 전북대석사학위논문, p26, 1997
- Bortone. G. Gemilli, Rambaldi. A., Tilchi. A., Nitrification, denitrification and biological phosphate removal in sequencing batch reactors treating piggery wastewater, *Water Science and Technology*, Vol.26, 1-12, 1992
- Cintoli. R, Disabatino. B, Galeatti. L, Bruno. G., Ammonium uptake by zeolite and treatment in UASB reactor of piggery wastewater, *Water Science and Technology*, Vol. 32, No.12, 1995

Colin J. L., G. Bablon, and J. Faucherre,  
Trib. Cebedeau, p459, 55-70, 1982

Damez F and Dernaucourt, La Tech. de l'Eau et  
de l'Assain., p388, 17-28, 1979

Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering:  
Treatment Disposal, McGraw Hill, p260-262,  
1979

Standard methods for the Examination of Water  
and Wastewater, APHA- AWWA -WPCF, 17th,  
1989