

최 종
연구보고서

Micro-bubbles의 부상공법에 의한 소규모 축산폐수의 고액분리시스템 개발

Development of Solids/liquid Separation system of Swine
Wastewater by Flotation process with Micro-bubbles

서울보건대학
환경기술연구소

농 립 부

최 종 보 고 서

1999년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 Micro-bubbles의 부상공법에 의한 소규모 축산폐수의 고액분리시스템 개발에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

첨부 : 1. 최종보고서 10부

2. 최종보고서 디스켓 1매

2001년 11 월 일

주관연구기관 : 서울보건대학

총괄연구책임자 : 김 남 천 (인)

주관연구기관장 : 서울보건대학장
구 성 회

농 립 부 장 관 귀 하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “Micro-bubbles의 부상공법에 의한 소규모 축산폐수의 고액분리 시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2001 년 11 월 일

주관연구기관명 : 서울보건대학

총괄연구책임자 : 김 남 천

연 구 원 : 이 동 현

연 구 원 : 정 명 진

연 구 원 : 권 우 택

연 구 원 : 차 병 훈

연 구 원 : 김 상 진

연 구 원 : 유 우 상

요 약 문

I. 제 목

Micro-bubbles의 부상공법에 의한 소규모 축산폐수의 고액분리시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

우리 나라 축산업의 생산성에 가장 큰 장애 요인은 여러 가지가 있겠으나 그 중의 하나는 분뇨발생에 따른 환경오염문제이다. 특히, 돈사시설에서 발생하는 슬러리 분뇨는 더욱 심각하다. 슬러리 분뇨 처리를 위해 정부에서는 많은 예산을 투입하여 연구개발 하였으나 현장성과 실용적인 측면에서 적합하지 못했던 것도 사실이다. 그래서 본 연구에서는 돈사폐수를 효율적으로 처리하기 위해서는 슬러리 분뇨중의 고형물을 쉽게 제거하기 위한 고액분리가 축산폐수처리의 성공여부라 판단되어 본 연구에서 고액분리시스템을 도출하는 한편 시스템을 pilot 규모로 제작해서 현장의 운영으로 최적의 운영 인자를 결정하고 여기서 발생된 분리액을 대상으로 1,000두 정도의 돈사시설을 비롯한 사육규모별 경제성을 담보로 한 정화처리 공정을 제시하여 실용화 측면에서 법적 방류수의 수질기준을 만족시키기 위한 표준화설계도를 제시하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

슬러리돈사 폐액을 최종적으로 안전하게 처리하기 위해서는 현실적으로 볼 때 생물학적 정화공법뿐이다. 생물학적 정화를 성공시키기 위해서는 슬러리 폐액내에 고농도의 유기물성 고형물을 제거하는 고액분리가 최우선적으로 요구되므로 본 연구팀에서 1차적으로 미세기포에 의한 고액분리시스템의 설비를 개발하였고, 2차적으로는 분

리된 분리액에 대해서 농장현실과 경제성이 보장된 운영이 가능하도록 유동상생물막 반응에 의한 정화처리를 중심으로 연구하였다. 고액분리시스템 설비의 개발은 대기압 상태에서 안전하고 비표면적을 높일 수 있는 2중성의 미세기포를 생성시켜 폐액내에 주입하므로 유기성고형물 입자에 흡착시켜 순간적으로 고형물을 부상시켜 기계적으로 부상고형물을 제거시키는 시스템 공정이고 분리액에 대해서는 분리액내의 용해성 유기물을 에너지로 하는 미생물 담체를 반응조내에 유동상으로 침적시켜 많은 양의 미생물을 확보하므로 고농도의 유기물을 제거시키는 생물막(bio-film) 공법을 적용하여 최소한의 운전비용으로 법적 방류수 수질기준을 만족시킬 수 있는 표준화설계도를 작성하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구 개발 결과

양돈사업으로 인해 발생하는 슬러리폐액(폐수)을 생물학적 공법으로 정화처리하기 위해서는 전처리설비로서 폐액(수) 내 고농도의 고형물 분리가 제일 중요하다. 본 연구팀에서 개발된 이중성의 미세기포발생 부상시스템으로 양돈폐수처리 현장에 설치해서 운영해 본 결과 총고형물(Total Solid)은 99.4% 제거시켰고, CODcr는 약 74%, BOD는 70%, TKN은 43.6%를 제거시켰다. 이때에 필요한 적정 응집제는 염화제이철과 황산알루미늄이며 고분자응집제는 AP-520C 였으며 기포부유제는 CT-29였다. 분리액에 대한 정화처리는 우리나라에서 설치한 적이 없는 폴리에틸렌계의 담체를 포기조에 유동상으로 침적시켜 운전한 결과 실험실적 규모의 반응조에서 처리수에 대한 BOD는 98.3%의 제거율을 보인 78.5mg/ℓ 였고, CODcr는 88.6% 제거율인 805.5mg/ℓ, TKN은 41.6% 제거율인 400.1mg/ℓ, SS는 제거율이 76%인 27.5mg/ℓ 로 처리되었다. 그리고, 생물막반응조 처리수의 외관 색상은 노란색을 띄었고, 정상적으로 운전 될 때 반응조 내의 미생물상들은 정화처리조건이 양호할 때 출현하는 원생동물이 많이 생존하는 것을 볼 수 있었다. 실험과 연구개발의 근거자료를 갖고 우리나라 양돈업의 사유규모에 따라 표준화 정화설비 설계도를 작성하였고 아울러 설비시공비와 운영비를 산출, 제시하였다.

2. 활용에 대한 건의

- 정화설비에서 최종적으로 처리된 방류수는 질소(TKN)농도가 약간 높으므로 수계로 방류시키지 않고 퇴비화 설비로 돌려 수분조정제로 활용하거나 탈암모니아 공정에 희석수로 사용하는 것도 바람직하다.
- 본 연구결과의 효과를 더욱 제고하기 위해서는 미세기포에 의한 부상시스템 설비 앞단계 즉, 침수조 후단에 혐기성소화시설을 건설하는 것도 바람직하다고 사료된다.

SUMMARY

1. Title :

Development of solids/liquid separation system of swine wastewater by flotation process with micro-bubbles

2. Objectives and Importance

One of the major problem of our livestock industry for productivity is increasing environmental pollution generated by animal waste and wastewater. Particularly, the slurry waste generated at the pigsty facilities is more serious problem. Even though tremendous amount of national fund was supplied for development and research for the treatment system of swine wastes, appropriate treatment system that has advantages at the field and practical use was not developed.

We concluded that development of simple and practical solid/liquid separation system for swine manure wastewater is the key point for efficient treatment of swine wastewater. Therefore, through this projects, we developed new solid/liquid separation system and determined the fittest operational factors. And then we presented a standard blueprint appropriate for treatment of the separated liquid solution, which generates effluent water that satisfy the national criterion of effluent pollutants concentration.

3. Contents and Scope

It is important to succeed secondary biological operation that separating high concentration organic solid particulates from the slurry wastewater. Therefore, first, we developed micro-bubble generator that would make duplicate fine bubbles, flotation reactor that would make solid particulates rise to the surface by adsorption of bubbles, and Skimmer facilities that would eliminate the floated solid particulates.

Second, we developed reasonable price purification process for the liquid solution separated by solid/liquid separation system. and that facility is biofilm process using floating carriers in the reactor. and then we drew out a standard design that could be adapted to the existing swine wastewater equipment.

4. Result and application of Study

The results of installation and operation of our floating system by generating duplicate micro-bubbles to the swine wastewater treatment are as follows; Of the contaminants, concentration of total suspended solids was reduced by our treatment system from 38,467mg/ℓ to 221mg/ℓ and the removal efficiency was 99.4%. Average chemical oxygen demand by $K_2Cr_2O_7$ (CODcr) was reduced from 52,056mg/ℓ to 13,564mg/ℓ and the removal efficiency was 74%. Biochemical oxygen demand(BOD) was reduced from 26,456mg/ℓ to 7,787mg/ℓ and the removal efficiency was 71%. The concentration of total nitrogen(TKN) and total phosphates(T-P) was reduced from 3,330mg/ℓ and 129mg/ℓ to 1,879mg/ℓ and 1.46mg/ℓ and the removal efficiency was 44% and 98.9% respectively. Therefore, we thought that our plan to develop solid/liquid separation system was succeeded as the concentration of pollutants was highly reduced by our system.

At the same time, we experimented removal of pollutants in the liquid solution separated from solid/liquid separation system at laboratory scale reactor. Total suspended solid was reduced by the treatment from 114.4mg/ℓ to 27.5mg/ℓ with the removal efficiency 76% and COD was reduced from 7,067mg/ℓ to 805.5mg/ℓ with the removal efficiency 88.6%. And BOD was reduced from 4,562mg/ℓ to 78.5mg/ℓ with the removal efficiency 98.3%. But the concentration of TKN was reduced from 767.3mg/ℓ to 400.1mg/ℓ with the low removal efficiency.

With the data obtained from developing and operating swine wastewater treatment system and purification process, we presented a standard design and computed the construction and operating cost as the individual scale of livestock(swine) industry in our country.

Our recommendation for practical use of this swine wastewater treatment system are as follows;

(1) To increase the efficiency of our treatment system, it is preferable that anaerobic digestion system would precede the flotation system.

(2) As the concentration of TKN in the effluent water from purification process was slightly high, it is reasonable that the effluent water would be used in the composting process for water moderator or dilution water at the ammonia removal process.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
section 1. Purpose and extents of research	1
section 2. Objectives	3
section 3. Contents and extent	4
Chapter 2. General overview of swine wastewater	6
section 1. Excretion volume of swine manure	6
section 2. Concentration of pollutants for discharged-type of swine wastewater	8
section 3. The purification technology for swine wastewater in Korea	13
section 4. The purification technology for swine wastewater in Japan	16
section 5. Conclusions	19
Chapter 3. Development of slurry-type solid/liquid separation system for swine manure	20
section 1. Introduction	20
section 2. Solid/liquid separation technology in Korea	21
section 3. Float theory of solid/liquid separation	28
section 4. Design and manufacture of laboratory scale solid/liquid separation system	35
section 5. Operation and results of laboratory scale micro-bubble generator	40
section 6. Conclusions	51

Chapter 4. Development of pilot plant type solid/liquid separation system	53
section 1. Design and manufacture of pilot plant type solid/liquid separation system	53
section 2. Operation of pilot plant type solid/liquid separation system	57
section 3. Construction/operation cost of pilot plant type solid/liquid separation system	64
section 4. Conclusions	69
Chapter 5. Development of purification process for separated liquid solution	70
section 1. Introduction	70
section 2. Theoretical background of biofilm process	70
section 3. Design and manufacture of laboratory scale purification reactor	72
section 4. Operation of laboratory scale purification reactor	79
section 5. Results and discussion	82
section 6. Construction/operation cost of purification plant using biofilm process	90
section 7. Conclusions	95
Chapter 6. Standardization design of slurry-type swine wastewater treatment plant for practical use	96
section 1. Standardization design of solid/ liquid separation system and micro-bubbles generator	99
section 2. Standardization design of slurry-type swine wastewater treatment plant	107
Reference	109
Appendix	112

목 차

제 1 장	서 론	1
제1절	연구개발의 목적과 범위	1
제2절	연구개발의 목적	3
제3절	연구개발 내용과 범위	4
제 2 장	양돈분뇨의 발생특성	6
제1절	분뇨배설량	6
제2절	양돈폐수 발생유형별 오염물 농도	8
제3절	국내 양돈분뇨의 정화처리실태	13
3. 1.	양돈폐수 처리현황	13
3. 2.	축산폐수공공처리장의 정화기술공법과 실제가동조사	14
제4절	일본의 양돈분뇨 정화처리실태	16
제5절	결 론	19
제 3 장	슬러리돈사 폐수의 고액분리시스템 개발	20
제1절	서 론	20
제2절	고액분리에 대한 국내의 수준	21
2. 1.	우리나라의 고액분리 수준	21
2. 2.	외국(일본)에서의 고액분리 수준	23
제3절	고액분리를 위한 부상 이론	28
3. 1.	부상분리법의 원리	29
3. 2.	부상분리장치	31

제4절	실험실규모의 고액분리시스템 설계 및 제작	35
4. 1.	개 요	35
4. 2.	미세기포 발생 Generator 설계 및 제작	36
4. 3.	응집반응조 및 부상분리조 설계/ 제작	37
제5절	실험실규모의 미세기포생성장치 운전 결과	40
5. 1.	미세기포생성장치 운전 및 결과	40
5. 2.	응집반응조 및 부상조 운전과 결과	45
제6절	결 론	51
제 4 장	현장 설치용 고액분리시스템 개발	53
제1절	고액분리시스템 설계 및 제작	53
제2절	고액분리시스템 현장 운영	57
2. 1.	고액분리시스템 현장 운영	57
2. 2.	고액분리시스템의 현장 운영 결과	61
제3절	고액분리시스템 설비의 시공비 및 운영비 산출	64
제4절	결 론	69
제 5 장	분리액에 대한 정화처리공정개발	70
제1절	서 론	70
제2절	생물막공정의 이론적 배경	70
제3절	실험실규모 정화처리반응조 설계 및 제작	72
3. 1.	실험실규모 반응장치의 구성과 제작	72
제4절	실험실규모 정화처리반응조 운전	79
제5절	결과 및 고찰	82

5. 1.	반응조의 미생물상 관찰	82
5. 2.	처리수의 수질농도	85
5. 3.	매질에 부착한 미생물량 조사	88
5. 4.	각 공정별 유출수 비교	89
제6절	생물막 정화시스템 설비의 시공비/ 운영비 산출	90
제7절	결 론	95
제 6 장	상용화를 위한 슬러리돈사 폐수처리장 표준화설계도	96
제1절	미세기포에 의한 고액분리시스템의 표준화설계도	99
제2절	전체적인 슬러리돈사 폐수처리장 표준화설계도	107
참고문헌	109
부 록	112

제1장 서론

제1절 연구개발의 목적과 범위

축산폐수는 오염부하량이 일반 폐수발생량에 비해 크기 때문에 적정처리하지 않고 공공수역으로 방류하게 되면 하천의 수질악화 및 호소에 부영양화를 초래하여 상수원으로서의 수질을 직접, 간접으로 영향을 주기 때문에 사회문제로 대두된 것이 사실이다. 과거의 소규모 축산시설에서 발생하는 가축분뇨는 대부분 주변 농경지에 유효한 비료원으로 이용되어 농업에 있어 가축분뇨는 매우 중요한 위치를 차지하였지만, 축산농가와 경종농가로 분리되어 별도의 농업형태를 발전시켜온 작금의 현황은 상당량의 가축분뇨가 더 이상 유효 비료원이 아닌 골치 아픈 환경오염물질로 취급받아 축산농가 주변의 지하수는 물론 하천오염과 토양오염의 원인이 되었기 때문에 정부에서는 오수분뇨 및 축산폐수처리에 관한 법률 시행령에 일정규모의 축산농가에 대해서 의무적으로 축산폐수처리장을 설치하여 배출되는 오염물질이 방류수 수질기준 이하로 배출하도록 명문화 시켰다.¹⁾

그러나, 축산농가의 영세성으로 환경오염방지시설의 설치가 미흡하고 전문지식의 부족으로 적정처리가 되지 않은 상태로 방류시키고 있으며, 심지어는 지방자치단체에서 운영 관리하고 있는 축산폐수공공처리장의 경우에도 부적합한 처리공법의 도입과 운전 미숙으로 완벽한 처리가 이루어지지 않은 상태로 수계에 방류시키고 있는 실정이다. 그래서, 본 연구팀에서는 퇴비화에 어려움을 해결하고 양돈사업에 생산성을 높일 수 있는 슬러리돈사 폐수 고액분리시스템을 개발 적용함으로써 후속공정인 생물학적 정화설비로 폐수처리 할 때 법적규제치 이하로 오염도를 저하시켜 방류하기 위해서 본 연구가 필요하다.

Table 1. 에는 가축종류별 사육규모에 따라 허가대상 또는 신고대상과 간이축산폐수정화조 시설로 구분하였다.^{1), 2)}

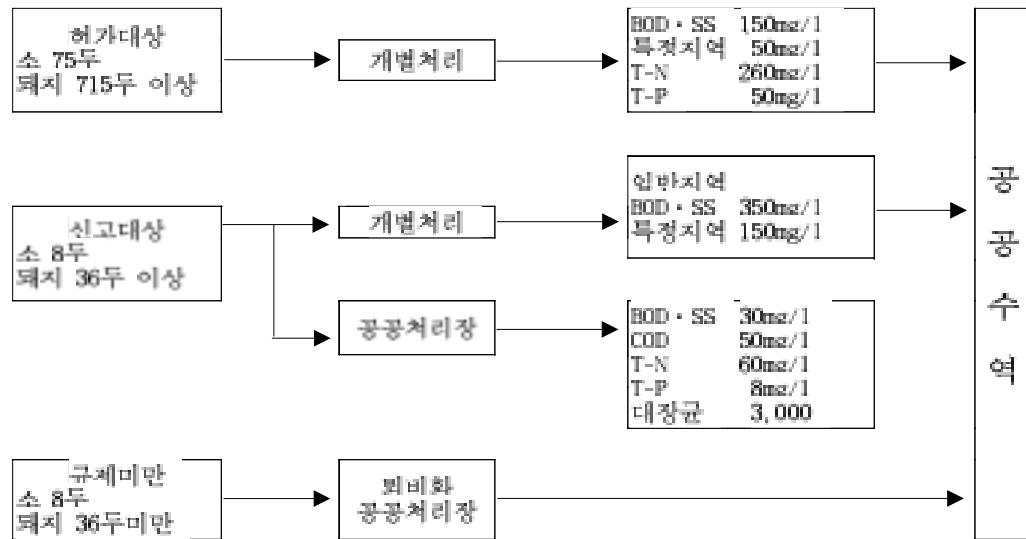
그리고, Table 2. 에는 축산폐수 관리체계를 환경부의 지침을 요약해서 나타내었다.^{3), 4)}

Table 1. Legal classification of livestock farms.

	허가대상	신고대상	간이축산폐수정화조 (신고대상)
돼지	1,000이상(715두) ※ 500이상(357두)	140~1,000미만(100~715두) ※ 140~500미만	50~140미만(36~100두)
소, 말	900이상(75두) ※ 450이상(38두)	200~900미만(17~75두) ※ 200~450미만	100~200미만(8~17두)
젖소	900이상(75두) 2,700이상(운동장) ※ 450이상(38두) ※ 1,350이상(운동장)	200~900미만(17~75두) 600~2,700미만(운동장) ※ 200~450미만 ※ 600~1,350미만(운동장)	100~200미만(8~17두) 300~600미만(운동장)

- ※는 수질보전특별대책지역(상수도보호구역과 취수시설로부터 유효거리 4km이내의 상류지역, 특별대책지역 특정호소관리구역, 지하수보전구역, 공원구역 및 보호구역, 청정지역)
- 운동장 : 축사를 제외한 소의 휴식이나 운동목적의 장소

Table 2. Effluent discharge limitations of the privately owned livestock wastewater treatment plant



- ※ '98년 개정법률에 공공처리시설의 처리대상 농가에는 축산폐수 저장시설과 축분분리시설을 설치해야함
- ※ 신고대상 배출시설이 방류수 기준 위반시에 과태료 부담금을 500만원 이하로 상향조정함
- ※ 종전의 일정규모의 축산농가에 적용했던 폐수처리 의무를 규모에 관계없이 모든 농가에 적용하여 공공수역에 배출하지 않도록 함.
- ※ 신고대상중 종전의 간이축산폐수정화조 설치대상에 대하여는 종전의 간이축산폐수정화조에 대한 방류수 수질기준 BOD 1,500mg/l 이하를 적용함.

제2절 연구개발의 목적

Table 1, 과 2에 나타난 바와 같이 축산폐수의 관리가 법적으로 엄격하게 체계화 된 이상 과거의 축산경영으로는 축산업을 할 수 없게 되었다. 특히, 돈사시설에서는 분뇨발생량중 뇨의 발생비율이 높고 분과 뇨의 고액분리 없이 퇴비화나 액비화시 많은 어려움이 뒤따라 양축농가에서 폐수 처리시에 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다. 더욱이 우리나라의 양돈업은 대규모 사양시설이 급증하고 있는 추세에서 양돈 경영상 상당수가 슬러리 돈사 형태로 이루어져 있어 분뇨 혼합형 양돈분뇨가 대부분을 이루고 있는 실정이다.

지금까지 국내의 많은 연구자들이 축산분뇨의 효율적인 처리 및 자원화기술 개발을 위한 수많은 연구가 수행되어 왔지만 축산분뇨의 배출특성 및 농장 경영 여건을 무시한 상태에서 교과서적인 공법으로 획일적 처리에 관한 연구가 주종을 이루고 있어 실질적인 처리 및 처분기술의 개발이 미흡한 실정이었다. 작금에 와서는 축산폐수의 규제가 엄격해진 만큼 현장성이 보장된 공정개발이 시급히 요구되고 있는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 슬러리 돈사분뇨의 효율적인 처리방안에 관한 실증연구를 위해 시스템적 접근을 수행하였다.

본 연구에서는 과거의 실험실적 연구와는 달리 1차적으로 실험실적으로 연구하고 그 결과를 토대로 pilot plant의 규모로 시스템을 설계/ 제작하여 양돈시설 현장에 설치하여 현장 운영으로 문제점을 도출시켜 수정 보완하고 현장의 비전문가도 쉽게 운전할 수 있으면서 최소한의 비용으로 설치 및 운영이 될 수 있는 공정을 구현하는데 목적을 두었다.

제3절 연구개발 내용과 범위

분과 뇨 및 세척수가 혼합된 고농도 유기성의 슬러리 통사 폐수는 밀도와 점도가 높을 뿐만 아니라 입자상의 고형물로 인해 생물학적공법 등을 동원하여 높은 처리효율로 유도하기 위해서는 전처리공정에서 고액분리가 필수적으로 선행되어야 한다.

일반적으로 고액분리라 함은 폐수내에 여러 형태로 존재하고 있는 고형물을 액체로부터 분리하는 것을 말한다. 축산폐수내의 고체와 액체를 분리하기 위한 방법으로는 자연적 증발법인 drying bed를 이용한 물리적인 방법과 기계적인 방법 등이 이용되고 있다. 자연적인 방법은 축산농가에서 실행하기가 곤란하다. 기계적인 고액분리로는 스크린, 진공여과, 벨트프레스, 스크류프레스, 스크류데칸터, 원심분리 및 가압 부상법 등이 있다. 이 중에서 본 연구진은 가압부상 원리를 이용한 이중성의 미세기포를 생성시켜 폐액 중의 고형물을 분리제거 시킬 수 있는 시스템을 개발하였다. 특히, 양돈폐수의 경우는 폐수내 고농도의 Alkalinity로 인해 공기주입시 미세기포를 형성하는데 유리하게 작용할 수 있어 이런 장점을 이용하여 축산폐수내의 고형물질을 순간적으로 부상분리시킬 수 있는 설비를 개발하였다. 설비는 크게 3부분으로 구분되는데 초미세 이중성의 전하를 띤 미세기포 발생장치와 5분이내에 고형물을 부상시킬 수 있는 부상설비 그리고, 부상된 고형물질을 제거시키는 설비를 개발하여 분리액에 대한 후속공정을 원활하게 운영되도록 하기 위함이다. 분리된 분리액을 대상으로 실험실에서 소형 반응조에 의해 방류수 수질기준에 만족되게 처리할 수 있는 공정 제시와 이에 따른 설계인자를 도출시켜 사육규모별로 적합한 표준화설계도를 작성하는 것이 연구범위가 된다. 년차별에 따른 세부연구내용과 범위는 다음과 같다.

1차년도

◎ 실험실규모의 고액분리시스템 개발에 따른 설계/ 제작

- 1) 돈사설비의 유형에 따른 분뇨발생량과 폐수성상 조사
- 2) 고형물 60% 이상과 유기물(BOD, COD)을 50% 이상 제거를 목표로 해서
 - 이중성의 전하를 띤 micro-bubbles 발생장치의 개발
 - 폐액에서 고형물을 쉽게 분리시킬 수 있는 응집반응조, 고형물 부상조, 부상된 고형물 제거장치, 분리액 이송장치 등의 설비 개발
 - 고액분리를 위한 약품 선정과 농도 및 주입량 도출/ 산정
- 3) 실험실규모의 고액분리시스템 설계/ 제작

2차년도

◎ 현장규모의 pilot plant 적용가능성 검토

◎ 분리액에 대한 정화공정 도출

- 1) 현장규모의 pilot plant를 설계/ 제작하여 양돈농가 폐수처리현장에 설치
- 2) Pilot plant 운영으로 문제점 도출에 따른 수정/ 보완
- 3) Pilot plant 운영으로 고형물, 유기물 제거효율 검토
- 4) 분리액에 대한 실험실적 규모의 반응조 운전으로 방류수 수질기준 이하로 처리하기 위한 공정 도출
- 5) 실용화 및 산업화를 위한 표준설계도 작성

제2장 양돈분뇨의 발생특성

제1절 분뇨배설량

국민의 생활수준이 향상됨에 따라 '80년 중반을 기점으로 축산업은 비약적인 발전을 거듭하였다. 이에 따라 돼지 사육두수는 1985년도에 2,853천두였던 것이 2000년 3월 현재 약 7,887천두로 약 2.8배의 사육두수가 증가하였다. 따라서 돼지분뇨 배설량도 상당히 많은 양이 증가하게 되었다.⁵⁾

양돈농가들이 돼지분뇨를 적절하게 처리하기 위해서는 매일 발생하는 돼지분뇨의 정확한 분뇨배설량의 파악을 필요로 하는데 이에 대한 것은 조사자와 조사기관에 따라 차이가 있다. 통상 분뇨배설량에 미치는 요인은 돼지의 성장단계별 체중, 사료섭취량, 온사환경 및 돼지의 건강상태에 따라 달라질 수 있다. 최근에 축산기술연구소에서 조사 보고된 "가축분뇨자원화 및 이용기술개발"⁶⁾ 보고서에 의하면 성장단계별 분뇨배설량 및 톤분의 수분함량은 다음 Table 3.과 같다.

Table 3. Daily fresh manure production and water content of swine in different raising stage

Raising stage	AVBW* (kg)	Manure production(kg/head/day)			Water content(%)	
		Total	Feces	Urine	Feces	Urine
Piglet	26.4	1.28±0.11	0.50±0.15	0.78±0.23	80.4±3.6	98.2±0.6
Growing Pig	38.2	2.94±0.58	1.06±0.20	1.88±0.66	75.7±4.4	98.3±0.4
	61.2	4.27±0.50	1.78±0.43	2.49±0.89	74.2±2.7	98.2±0.8
	78.8	4.70±0.48	2.01±0.22	2.69±1.18	71.1±1.6	98.9±0.7
Finishing Pig	94.5	5.41±0.61	2.12±0.22	3.29±1.45	75.5±3.9	98.8±0.4
	106.7	5.26±0.79	2.07±0.37	3.19±1.40	74.2±0.6	97.6±0.5
Gestating Sow	164.5	5.24±0.25	1.66±0.52	3.58±0.90	78.7±3.7	98.5±0.6
Sow & litter	229.6	7.49±1.43	3.25±0.64	4.24±0.63	80.6±0.4	99.4±0.5
Avg	-	4.58 (4.57)	1.81 (1.83)	2.77 (2.76)	76.3	98.5

* AVBW : Average body weight

() : recalculated value in terms of 60kg

육성비육돈의 단계별 분뇨발생량을 조사한 결과 돼지의 평균체중이 38.2kg/두 일 때 배설량은 2.94kg/두.일이 배설되었다. 이때 돈분뇨는 각각 1.06, 1.88kg/두.일이었고 돈분뇨의 수분함량은 75.7%, 98.3%로 나타내었다. 시험축의 체중이 61.2kg/두 일 때 분뇨배설량은 총 4.27kg/두.일(돈분 1.78kg, 뇨 2.49kg)이었고 체중이 78.8kg/두.일 일 때 분뇨배설량은 4.76kg/두.일, 체중이 94.5kg/두.일 일때는 분뇨배설량이 5.41kg /두.일(돈분 2.12kg, 뇨 3.29kg)이었다. 돼지의 표준체중 60kg 일 때 평균 분뇨배설량은 4.57kg/두.일(돈분 1.83kg, 뇨 2.76kg)이었다.

최근 우리나라 축산기술연구소에서 돼지 체중 60kg을 기준으로 과거에 조사했던 자료들과 비교해서 나타낸 것이 Table 4.가 된다.

Table 4. Comparison of swine manure discharge volume in different survey establishment

조사기관	조사년도	분뇨발생량(kg/두.일)		
		합 계	분	뇨
대만축산시험원	1985	4.03	1.18	2.85
국립환경연구원	1986	6.0	3.0	3.0
환경부	1995	6.0	2.5	3.5
한국과학기술원	1993	5.75	2.15	3.6
미국 MWPS	1985	6.85	-	-
한국중앙축산처	1989	5.4	1.9	3.5
한국축산기술연구소	2000	4.59	1.83	2.76
일본 농문협(육돈)	1999	5.8	2.3	3.5

* 체중 60kg/두.일 기준의 배설량 일

* MWPS : Mid West Plan Service, 미국

한편, 돈사의 청소방법에 따라 폐수발생량은 차이가 나며, 세척수를 포함한 돈사 폐수의 배출원단위는 환경부고시(1999-109호)에 의하면 12ℓ에서 8.6ℓ(분 1.6ℓ, 뇨 2.6ℓ, 세척수 4.4ℓ)로 하향 조정하여 현실화 한 바 있다.⁷⁾ 그러나, 축산농가에서는 폐수발생량을 줄이기 위해 세척수의 사용을 최대한 억제하고 있는 실정이다.

제2절 양돈폐수 배출유형별 오염물 농도

양돈폐수는 사육농가에 따라 돈사의 형태, 사육돈의 종류, 공급되는 사료의 종류 및 양, 급수량 및 급수시설의 형태, 분뇨의 분리 유무 및 수거방법, 돈사의 세척방법 및 세척수량, 소독 등에 의해 폐수의 배출량 및 성상이 매우 상이하므로 정확한 오염물 농도를 나타내기에는 어려움이 있다. 그러므로 처리공법의 선정에도 지역적 여건에 따라 달라진다. 순수한 양돈분뇨의 오염물 농도는 Table 5.와 같다.⁶⁾

Table 5. Pollutant concentration of pure swine manure

항 목	분(mg/ℓ)	노(mg/ℓ)
BOD	60,000	4,000
CODcr	262,000	9,100
TSS	183,000	430
TKN	9,800	4,500
T-P	4,200	315
Cl ⁻	1,300	1,530
함수율(%)	73.5	-

양돈분뇨는 수거형태에 따라 분리형 및 미분리형으로 구분되는데 분리형에는 인력 수거, Scraper식, 벨트식으로 나누고 미분리형에는 Slurry돈사와 톱밥발효돈사로 나눈다. 본 연구에서 오염물 농도 조사는 우리나라의 양돈업계에서 가장 대표적이라 할 수 있는 스크레퍼돈사와 슬러리 돈사를 대상으로 조사하였다.

우선, 스크레퍼돈사의 경우 소규모 양돈농가에 주로 적용되는 방식으로 분뇨가 발생되면 수작업 혹은 기계식 스크레퍼에 의해 분과 노가 분리되어 배출되는 것으로 분은 스크레퍼에 의해 정기적으로 모아 퇴비화 처리를 하게 되며 노의 경우는 분과 반대 방향으로 구배가 지어진 노 홈을 통해 집수된 후 정화처리 공정을 거치게 된다. 하지만 국내의 일부 스크레퍼식 돈사에 대한 이해 부족 및 설계 잘못으로 인해 스크레퍼식 돈사일지라도 구배를 같은 방향으로 설치함으로써 분과 노가 분리되지 못하고 스크레퍼에 의해서 혼합되어 배출됨으로서 퇴비화 공정에서 상당량의 수분조정제가 요구되고 있다.

한편, 슬러리 돈사는 일명 유럽형이라고도 하는데 주로 대규모 양돈업에 적용되는 분뇨통합 수거방식이다. 이는 분뇨가 돈사 바닥에 설치된 저장 피트에 저류되어지며 저장 피트의 크기에 따라 짧게는 일주일, 길게는 6개월씩 체류함으로써 양돈폐수 분리처리시 저장기간이 길수록 양돈폐수가 준혐기성화되어 입자상물질의 분해로 현장에서 많이 애용하는 고액분리 방법인 스크린 설비로는 많은 어려움이 따르고 있다.

본 연구에서 축산폐수 유형별 특성조사를 위해 스크레퍼식 돈사는 경기도 양평군 소재 심. J. J氏(사육규모 1,200여두), 남. K. W氏(1,700여두), 이. T. S氏(1,500여두) 양돈장에서 시료를 채취하였으며 슬러리돈사는 양평군 양동면 소재 양돈단지 내의 3단지(2,100두), 5단지(1,800두), 10단지(1,860두) 각각 3곳에서 채취 분석하였다. (사진 1. 양돈폐수 채취) 참고로 양평군, 광주군 축산폐수공공처리장 2곳에서도 각각 채취하여 분석하였다. 채취된 축산분뇨 시료별 성상분석표는 Table 6.과 같다.



photo.1 Slurry-type swine manure wastewater sampling

Table 6. Characteristics of slurry and scraper-type swine wastewater

1) 스크레퍼식 돈사폐수의 성상

장목 채취점	DATE	온도 (°C)	pH	비중	밀도	점도 (cp)	알칼리도 (mg/l)	CODcr (mg/l)	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	T-P (mg/l)	NH ₃ -N (mg/l)
심, J, J (1,200두)	1월 23일	12.8	8.83	1.013	1.0072	-	5,029.0	2,972.0	387.2	169.0	1,617.0	8.29	1,677.9
	2월 12일	11.3	9.00	1.010	1.0007	1.41	5,540.0	1,434.7	342.0	163.0	2,037.0	6.93	1,961.0
	3월 2일	12.7	8.89	1.010	1.0055	1.34	5,285.0	1,714.0	370.9	172.0	1,984.5	6.50	1,897.9
	3월 29일	13.2	8.90	1.011	1.0044	1.36	5,320.2	2,033.6	369.2	168.0	1,879.4	7.24	1,843.0
	평균	12.5	8.90	1.011	1.0045	1.37	5,293.5	2,038.58	367.3	168.0	1,879.0	7.24	1,844.9
남, K, V (1,500두)	1월 23일	13.8	9.41	1.011	1.0179	-	8,023.0	8,993.1	4,200.0	469.0	3,300.8	17.23	2,518.6
	2월 12일	11.1	9.33	1.014	1.0062	1.41	8,835.1	8,984.8	4,362.0	759.0	3,750.3	17.96	3,465.0
	3월 2일	14.9	9.35	1.016	1.0108	1.34	8,925.2	11,030.9	4,230.0	873.3	3,888.8	15.70	3,948.0
	3월 29일	13.0	9.35	1.015	1.0114	1.37	8,594.0	9,669.2	4,215.0	700.0	3,646.2	16.96	3,310.5
	평균	13.2	9.36	1.014	1.0116	1.37	8,594.33	9,669.5	4,251.8	700.33	3,646.53	16.95	3,310.53
이, T, S (1,500두)	1월 23일	14.4	9.66	1.012	1.0179	-	9,267.0	14,994.0	7,320.0	2,146.0	4,505.9	-	4,679.5
	2월 12일	11.6	9.64	1.021	1.0118	1.34	14,225.0	16,628.6	7120.0	2,466.0	5,594.8	28.39	5,253.5
	3월 2일	15.1	9.39	1.012	1.0065	1.41	5,323.0	7,763.9	3,060.0	907.0	2,436.0	11.41	2,350.0
	3월 29일	13.7	9.56	1.011	1.0121	1.37	9,601.0	13,125.0	5,190.0	1,832.0	4,177.3	19.87	4,087.7
	평균	13.7	9.56	1.014	1.0121	1.37	9,604.0 (8,063.6)	13,127.88	5,672.5	1,837.8	4,178.5	19.89	4,092.68

장목 채취점	DATE	온도 (°C)	pH	비중	밀도	점도 (cp)	알칼리도 (mg/l)	CODcr (mg/l)	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	T-P (mg/l)	NH ₃ -N (mg/l)
* 심, J, J (1,200두)	1월 23일	9.7	8.90	1.013	1.0057	-	5,371.5	1,034.8	390.0	163.0	1,939.0	8.88	1,816.5
	2월 12일	12.3	9.01	1.010	1.0061	1.34	5,250.0	1,532.7	359.0	153.0	1,802.5	8.98	3,955.0
	3월 2일	11.4	9.03	1.010	1.0058	1.34	5,406.0	1,791.4	371.0	181.0	1,814.8	7.18	1,893.5
	3월 29일	13.7	8.98	1.011	1.0055	1.37	5,341.7	1,451.0	370.0	164.9	1,850.7	8.13	2,550.0
	평균	11.8	8.98	1.011	1.0058	1.35	5,342.3	1,452.5	372.5	165.5	1,851.8	8.29	2,553.8
* 남, K, V (1,500두)	1월 23일	10.7	9.36	1.011	1.0124	-	8,371.5	8,937.6	5,288.0	376.0	3,549.0	17.30	3,446.0
	2월 12일	12.1	9.35	1.014	1.0176	1.34	8,750.0	9,619.7	4,292.0	302.0	3,602.3	18.16	3,955.0
	3월 2일	11.6	9.38	1.016	1.0125	1.22	9,142.0	10,760.0	4,464.0	543.0	3,703.0	17.30	3,612.0
	3월 29일	13.2	9.36	1.015	1.0115	1.28	8,755.5	9,684.0	4,676.0	540.3	3,610.1	17.05	3,538.2
	평균	11.9	9.36	1.014	1.0135	1.28	8,754.8	9,750.33	4,680.0	440.3	3,616.0	17.45	3,637.8
* 이, T, S (1,500두)	1월 23일	12.2	9.60	1.012	1.0156	-	9,064.5	15,217.4	6,900.0	2,016.0	5,236.0	29.58	4,473.0
	2월 12일	10.9	9.64	1.021	1.0116	1.34	12,700.5	16,346.4	7,046.0	2,336.0	5,447.8	32.75	5,460.0
	3월 2일	15.8	9.47	1.012	1.0086	1.28	4,728.0	8,426.1	3,316.2	1,243.3	2,392.5	13.63	2,207.0
	3월 29일	14.5	9.50	1.017	1.0110	1.31	8,820.2	13,196.1	5,620.9	1,731.9	4,225.6	23.98	3,913.3
	평균	13.3	9.55	1.026	1.0117	1.31	8,828.3	13,296.5	5,720.8	1,831.8	4,325.48	24.98	4,013.3

* 0.7mm의 스크린 설비에 의해 통과시킨 후의 분석값

2) 슬러리 돈사폐수의 정상

장목 채취점	DATE	온도 (°C)	pH	비중	밀도	점도 (cp)	알칼리도 (mg/ℓ)	CODcr (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	TS (mg/ℓ)	VS (mg/ℓ)	TKN (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	NH ₃ -N (mg/ℓ)
3 단계 (2,100두)	1월 23일	13.7	8.34	1.030	1.0244	-	13,732	61,780	17,850	38,428	25,379	5,803	79.90	4.321
	2월 12일	11.0	8.58	1.028	1.0179	4.52	12,930	45,634	18,270	33,390	21,098	6,356	76.63	5.558
	3월 2일	15.4	7.82	1.037	1.0322	14.2	13,675	109,791	44,760	64,136	44,615	7,156	220.69	6.902
	3월 29일	13.7	8.24	1.031	1.0248	9.36	13,406	72,268	31,305	45,184	30,198	6,305	112.89	5.460
	평 균	13.5	8.25	1.032	1.0248	9.36	13,435	72,368	28,046	45,284	30,322	6,405	122.53	5.560
5 단계 (1,800두)	1월 23일	13.1	7.06	1.023	1.0205	-	8,640	72,363	32,751	39,750	25,262	5,635	67.37	3.784
	2월 12일	12.5	7.30	1.024	1.0153	5.31	8,475	73,629	30,499	34,667	23,167	5,803	78.05	4.844
	3월 2일	15.5	7.25	1.023	1.0194	4.86	6,765	75,734	42,120	38,012	25,918	5,833	79.40	4.886
	3월 29일	13.4	7.20	1.022	1.0116	5.09	7,940	72,575	37,170	38,809	23,449	5,623	72.27	4.238
	평 균	13.6	7.20	1.023	1.0167	5.09	7,955	73,575	35,635	37,809	24,449	5,723	74.27	4.438
10 단계 (1,800두)	1월 23일	12.2	8.74	1.026	1.0264	-	13,477	62,642	24,000	45,408	28,307	7,315	104.0	4.344
	2월 12일	10.9	7.53	1.027	1.0163	6.91	10,370	73,887	30,110	42,421	28,931	6,636	122.49	5.152
	3월 2일	15.8	7.79	1.026	1.0220	6.51	10,625	70,560	37,320	42,364	28,246	5,749	114.90	5.600
	3월 29일	14.5	8.02	1.025	1.0141	6.26	11,090	70,363	30,660	42,064	28,228	6,433	115.7	4.765
	평 균	13.4	8.02	1.026	1.0221	6.56	11,390	69,363	30,522	43,064	28,428	6,533	117.70	4.965

장목 채취점	DATE	온도 (°C)	pH	비중	밀도	점도 (cp)	알칼리도 (mg/ℓ)	CODcr (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	TS (mg/ℓ)	VS (mg/ℓ)	TKN (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	NH ₃ -N (mg/ℓ)
* 3 단계 (2,100두)	1월 23일	10.8	8.48	1.031	1.0229	-	13,393	61,073	20,083	38,326	24,960	4,855	90.82	4.220
	2월 12일	12.6	8.45	1.026	1.0240	4.03	13,355	48,651	17,265	31,655	20,513	5,859	78.96	5.698
	3월 2일	11.5	7.85	1.034	1.0320	12.00	14,520	105,369	38,214	62,092	43,978	6,517	220.50	6.377
	3월 29일	12.7	8.25	1.030	1.0248	8.02	13,489	71,432	25,100	42,691	28,484	5,477	119.89	5.431
	평 균	11.9	8.25	1.030	1.0248	8.02	13,689	71,631	25,165	43,691	29,483	5,677	127.5	5.431
* 5 단계 (1,800두)	1월 23일	10.3	7.28	1.021	1.0201	-	8,421	73,382	35,000	41,558	27,464	5,404	88.95	3.989
	2월 12일	12.5	7.25	1.024	1.0198	4.93	8,465	73,676	29,212	31,834	20,960	5,337	82.43	5.166
	3월 2일	13.4	7.26	1.023	1.0228	4.74	8,556	77,898	31,051	38,398	24,823	5,266	92.90	5.082
	3월 29일	13.0	7.25	1.024	1.0116	4.85	8,556	74,719	31,701	35,930	23,082	5,202	85.42	4.719
	평 균	12.3	7.25	1.023	1.0166	4.84	8,499	74,918	31,741	36,930	24,082	5,302	87.47	4.739
* 10 단계 (1,800두)	1월 23일	10.4	8.56	1.026	1.0263	-	11,529	65,288	27,250	42,655	27,043	6,216	117.22	4.844
	2월 12일	12.8	7.55	1.027	1.0242	5.82	10,015	70,371	29,417	35,774	23,620	5,936	117.34	5.775
	3월 2일	13.4	7.86	1.026	1.0227	5.38	10,365	71,783	25,480	41,416	27,076	5,807	118.90	5.705
	3월 29일	14.0	7.95	1.028	1.0121	5.60	10,503	67,814	26,049	38,615	24,579	5,906	119.0	5.174
	평 균	12.6	7.95	1.027	1.0121	5.60	10,603	68,814	27,049	39,615	25,579	5,966	118.31	5.374

* 0.7mm의 스크린 설비에 의해 통과시킨 후의 분석값

3) <참고> 축산공공처리장 유입 폐수의 성상

항목 채취점	DATE	온도 (°C)	pH	비중	밀도	점도 (cp)	일칼 리도 (mg/ℓ)	CODcr (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	TS (mg/ℓ)	VS (mg/ℓ)	TKN (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	NH ₃ -N (mg/ℓ)
양 평 공 공 처리장	2월 12일	11.5	9.3	1.010	1.0073	1.41	8,698	9,541	4,011	10,229	4,594	3,461	9.51	3,083
	3월 2일	15.4	9.4	1.009	1.0044	1.34	4,581	6,326	2,454	6,028	3,835	3,043	9.67	2,996
	3월 29일	12.9	9.4	1.012	1.0059	1.37	6,645	7,947	3,210	8,129	4,215	3,255	9.66	3,040
	평 균	13.3	9.4	1.011	1.0159	1.37	6,641	7,938	3,225	8,128	4,214	3,253	9.61	3,039
* 양 평 공 공 처리장	2월 12일	11.9	9.3	1.013	1.0059	1.34	8,740	8,961	3,938	9,367	3,886	3,526	9.51	3,283
	3월 2일	11.8	9.5	1.014	1.0094	1.28	4,720	5,958	2,146	6,531	3,283	1,824	9.70	2,828
	3월 29일	11.8	9.4	1.011	1.0077	1.31	6,325	7,459	3,041	7,949	3,581	2,673	9.63	3,008
	평 균	11.8	9.4	1.012	1.0177	1.31	6,595	7,459	3,041	7,949	3,583	2,674	9.61	3,039
광 주 공 공 처리장	1월 23일	13.2	8.3	1.013	1.0069	-	4,402	11,349	4,300	14,980	8,186	1,054	9.82	957
	3월 2일	13.4	8.8	1.014	1.0094	1.66	7,370	22,274	8,985	15,638	9,438	3,045	9.70	2,966
	3월 29일	13.3	8.6	1.014	1.0067	1.66	4,386	15,311	5,142	14,109	8,811	1,929	9.60	1,838
	평 균	13.3	8.5	1.014	1.0077	1.66	5,386	16,311	6,142	14,909	8,811	2,009	9.71	1,920
* 광 주 공 공 처리장	1월 23일	13.2	8.4	1.012	1.0075	-	3,852	10,842	3,857	15,042	8,380	1,018	10.2	745
	3월 2일	12.9	8.8	1.014	1.0098	1.54	6,810	22,108	8,326	15,585	8,639	2,877	15.4	2,828
	3월 29일	13.6	8.6	1.013	1.0072	1.53	5,086	16,312	5,342	14,101	8,811	2,020	12.6	1,926
	평 균	13.3	8.6	1.013	1.0082	1.54	5,249	16,420	5,841	14,909	8,610	1,971	12.7	1,833

* 0.7mm의 스크린 설비에 의해 통과시킨 후의 분석값

상기 분석표는 각각 채취지점당 4회 채취하여 분석한 값이며 *는 0.7mm의 스크린 설비에 의해 통과시킨 후의 시료에 대한 분석값이다. 보편적으로 pH는 같은 종류별 돈사에서 큰 차이가 없었으나 비교적 스크레퍼돈사에서 약간 높게 나타났다. 이는 스크레퍼돈사 폐수에는 노에 의한 암모니아가 상당량 함유되었기 때문이다. 축산 폐수를 화학적 및 생물학적으로 정화처리시에 처리효율과 운영 측면에 문제가 될 수 있는 점도는 슬러리돈사에서 발생된 시료가 6.56cp로서 스크레퍼 돈사의 1.37cp보다 상당히 높게 측정되었다. 이는 생물학적 처리시에 산소 공급에 절대적 영향을 줄 수 있고 본 연구과제인 물리, 화학적 고액분리에 큰 영향을 미치는 요소가 되는 항목이다. 알칼리도 역시 스크레퍼돈사에서 평균 7,317mg/ℓ(5,029~14,225mg/ℓ)인 반면에 슬러리돈사에서 평균 11,390mg/ℓ(6,765~13,732mg/ℓ)로 높게 측정되었다. CODcr인 경우 평균 13,127mg/ℓ(1,434~16,628mg/ℓ)로 스크레퍼 돈사별로도 큰 차이

를 보였으나 슬러리톤사는 평균 69,363mg/ℓ (45,634 ~109,731mg/ℓ)로 톤사별로 큰 차이가 있었다. BOD인 경우에도 스크레퍼 톤사에서서는 적게는 342mg/ℓ, 많게는 7,320mg/ℓ로 크게 차이가 났으며 슬러리톤사인 경우에서도 평균 30,552mg/ℓ (17,850~44,760mg/ℓ)로 큰 차이가 있었다. 이, T, S氏의 스크레퍼식 톤사에서 BOD가 높게 측정된 것은 스크레퍼가 완벽한 기능을 발휘하지 못해 노에 분이 많이 혼입된 것으로 판단된다. 슬러리톤사에서의 축산폐수내 TS는 33,390~64,136mg/ℓ, VS는 21,098~44,616mg/ℓ 정도였고 TKN과 T-P는 5,623~7,315mg/ℓ (평균 6,533mg/ℓ), 67~220mg/ℓ (평균 117mg/ℓ) 범위로 분석되었다. NH₄-N 농도는 3,784~6,902mg/ℓ (평균 4,965mg/ℓ) 정도 였다. 한편, 스크레퍼식 톤사 폐수 내의 부유물질(SS)은 비교적 농도가 낮은 163~2,466mg/ℓ (평균 1,837mg/ℓ)였고, TKN, T-P는 1,617~5,594mg/ℓ (평균 4,178mg/ℓ), 6.93~28.39mg/ℓ (평균 19.89mg/ℓ)였다. 그리고 암모니아 농도는 1,677~5,253mg/ℓ (평균 4,092mg/ℓ) 범위를 보여주고 있었다. 특이한 것은 0.7mm의 스크린을 통과한 것과 하지 않은 것과는 큰 차이가 없었다.

한편, 축산폐수공공처리장으로 유입되는 축산폐수 원수의 pH는 비교적 알칼리성이었으며 노로 인해 절도는 스크레퍼 톤사 축산폐수 수준이었다. 알칼리도는 3,852~8,740mg/ℓ 범위였으며 COD, BOD는 5,958~22,108mg/ℓ, 2,146~8,985mg/ℓ로 유입되고 있었다. TKN과 T-P는 스크레퍼식 톤사 폐수 수준이었다.

제3절 국내 양돈분뇨의 정화처리실태

3.1 양돈폐수 처리현황⁸⁾

양돈폐수 발생량의 대부분은 환경친화적인 방법으로 최대한 자원화하여 퇴비, 액비로서 재활용하고 나머지 불가피하게 발생하는 축분, 축노와 세정수 등의 축산폐수는 정화방법에 의해 적정하게 처리하는 것으로 조사되었다. Table 7.에서 보면 '98년 말까지 규제대상 축산폐수처리시설 설치 농가 82,647개소중 91%에 해당되는 75,356개소가 시설을 설치하였다. 설치 현황별로는 83%에 해당되는 62,484개소가 퇴비화 및 저장액비화 등의 자원화 시설이며 본 연구와 관련되는 12,872개소(17%)는 정화방류시설에 의해 처리되는 것으로 나타났다. 신고대상 소규모 농가에서 배출되는 축산분뇨는 자체적으로 퇴비화하거나 일부는 시·군에서 운영하는 축산폐수공공처리시설에 위탁하여 정화 처리되고 있다.

Table 7. Legal classification of treatment condition

(단위: 개소)

구 분	설치대상 농가수	설치 현황		합 계	미설치
		자원화 시설	정화시설		
허가대상	7,980 (100)	6,932	965	7,897 (99%)	83 (1%)
신고대상	74,667 (100)	55,552	11,907	67,459 (90%)	7,208 (10%)
간이대상	32,864 (100)	22,240	6,158	28,398 (86%)	4,466 (14%)
합 계	82,647 (100%)	62,484 (83%)	12,872 (17%)	75,356 (91%)	7,291 (9%)

-농림부('96년 자료)

3.2 축산폐수공공처리장의 정화기술공법과 실제가동조사⁹⁾

축산농가중에서 신고대상(간이대상 및 법적규제미만 포함)이하의 소규모 축산시설에서 배출되는 축산폐수를 공동으로 처리할 수 있도록 1991년부터 241,052백만원의 국고지원사업으로 축산폐수공공처리시설 설치사업을 추진하여 1998년말 기준으로 가동중인 처리시설은 10개소이며, 현재 총질소, 총인 처리시설 추가 등의 사업계획을 변경하여 시공 또는 설계중인 31개소의 공공처리시설을 포함해서 총 41개소에 이르고 있다. Table 8.은 가동중인 공공처리시설의 처리공법 및 용량 등 개략적인 현황을 나타낸 것이고, Table 9.는 시공 또는 설계중인 공공시설을 정리한 것이다.

Table 8. Treatment process of operating livestock wastewater public treatment plant

No.	시·군	처리용량 (톤/일)	처리공법	수 계	비 고
1	경남 김해시	130	헤파성소화법(HAF)+활성오니(탈질시설)+활성탄여과	낙동강	단독처리
2	경기 이천시	130 (축산폐수 90+분뇨 40)	헤파성 소화법(HAF)	한강 (남한강)	하수연계처리 (분뇨처리장)
3	경북 안동시	140 (축산폐수 100+분뇨 40)	헤파성 소화법(HAF) +토양트랜치법	낙동강	단독처리
4	전북 임실군	130 (축산폐수 100+분뇨 30)	헤파성 소화법(HAF)+폭기	기타 (섬진강)	단독처리
5	충남 홍성군	250	헤파성소화(BIHA) + 폭기	금강	단독처리
6	충남 논산군	250(80톤)	역상부식법	금강	단독처리
7	경기 용인군	1,300	헤파성 소화법(HAF)	한강 (경인천)	하수연계처리
8	경기 양평군	200 (90-110)	역상부식법+점속안정화조	한강 (남한강)	하수연계처리
9	경기 여주군	150 (축산폐수 100+분뇨 30)	헤파성 소화법(HAF)	한강 (남한강)	하수연계처리
10	경기 광주군	100	헤파성소화 + 폭기	한강 (경인천)	하수연계처리

Table 9. Condition be under execute or design livestock wastewater public treatment plant

No	시·군	처리용량 (톤/일)	처리공법	수 계	비 고
1	경북 상주시	80	혐기성소화+폭기	나동강	단독처리
2	경북 구미시	100	혐기성소화법(BIMA)+폭기	나동강	단독처리
3	경기 남양주	185 (옥신폐수100+분뇨85)	호기성소화법(B3공법)	한강(왕숙천)	하수연계처리
4	경기 파주	200	약상부식법	한강(임진강)	단독처리
5	경기 연천	150	약상부식법	한강(임진강)	하수연계처리
6	경기 포천	100	호기성소화법	한강(임진강)	하수연계처리
7	경기 평택	100	약상부식법	기타(안성천)	하수연계처리
8	강원 횡성	100	약상부식법	한강(남한강)	단독처리
9	강원 철원	200	혐기성소화법(BIMA) +탈질·탈인	한강(임진강)	단독처리
10	강원 원주	350(90중설)	집축산화법	한강(남한강)	단독처리
11	강원 홍천	50	호기성 소화법	한강(북한강)	하수연계처리
12	충북 청원	400	자연정화법	금강	단독처리
13	충북 진천	100	약상부식법	금강	하수연계처리
14	충남 예산	150	자연정화법	기타(삼교천)	하수연계처리
15	충남 공주	250	혐기성소화법(BIMA)+폭기	금강	단독처리
16	충남 아산	150	산화구공법	기타(삼교천)	하수연계처리
17	전북 김제	200	약상부식법	기타(만경강)	단독처리
18	전북 정읍	150	호기성소화법	기타(동진강)	하수연계처리
19	전북 완주	120	약상부식법	기타(만경강)	하수연계처리
20	전북 진안	100	약상부식법	기타(섬진강)	단독처리
21	전북 익산	210	황궁처리장 보완	기타(만경강)	단독처리
22	전북 장수	100	호기성소화법(B3공법)	금강	단독처리
23	전북 순창	100	약상부식법	기타(섬진강)	분뇨처리
24	전남 나주	200	혐기성소화법(BIMA)+폭기	영산강	단독처리
25	전남 함평	130	약상부식법	영산강	하수연계처리
26	전남 담양	50	자연정화법	영산강	하수연계처리
27	전남 구례	75	약상부식법	기타(섬진강)	하수연계처리
28	경남 함안	150	약상부식법	나동강	하수연계처리
29	경남 밀양	100	호기성소화법	나동강	하수연계처리
30	경남 함양	130	약상부식법	나동강	하수연계처리
31	경남 의령	100	호기성소화법	나동강	하수연계처리

일반적인 처리방식은 전처리후, 1차처리한 폐수를 혐기, 호기성 소화법 및 활성슬러지법을 동원한 2차처리, 그리고 고도처리방법 등으로 이루어지고 있는데 설계중인 시설을 포함할 경우 총 41개의 처리시설 중 호기성소화법과 혐기성소화법이 각각 60%와 31%로서 대부분 차지하고 있다. 한편, '98년말 축분처리시설 운영실태조사결과 75천개소중 94%인 71천개소가 정상가동중이며 나머지 6%인 4,549개소는 가동불량, 중단 등 관리가 부실한 것으로 조사되었었다.

제4절 일본의 양돈분뇨 정화처리실태

일본 농문협('99년판)¹⁰⁾ 자료에 의하면 돼지 두당 분뇨배설량은 5.41kg/일(분 1.9kg, 뇨 3.5kg)로 보고 있으며 BOD 24,000mg/ℓ(부하량 130g/d), SS 80,000mg/ℓ(부하량 430g/d), COD_m 12,000mg/ℓ(부하량 63g/d), 질소 6,800mg/ℓ(부하량 37g/d), 인(P) 2,700mg/ℓ(부하량 14.7g/d)로 기록되어 있고, 수질오탁방지법에 의한 돼지사육시설은 총면적이 50㎡ 규모 이상의 축사구조, 사용방법 우수처리여부 등 신고의 의무화가 되어 있고 희석수를 이용하여 방류수질의 농도를 조작하는 것을 방지하기 위해 총량규제를 강조하고 있으며 축산폐수를 인근 바다에 부기하거나 퇴비화 되지 않은 분뇨는 경지에 살포하는 것을 금지하고 있다. 그리고, 정화시에 방류수 기준치는 Table 10.과 같다.

Table 10. Effluent discharge limitation of public owned swine wastewater treatment plant in Japan

항 목	방류기준	비 고
pH	5.8~8.6	
BOD(mg/ℓ)	160(하루평균 120)	
COD(mg/ℓ)	160(하루평균 120)	KMnO ₄ 법 100℃ 30분 반응
SS(mg/ℓ)	200(하루평균 150)	1μm 이상 입자
대장균(개/㎖)	하루평균 3,000	37℃, 20시간 배양 (하루당 폐수량 50㎡ 이상인 경우 적용)
질소(mg/ℓ)	120(하루평균 60)	
인(mg/ℓ)	16(하루평균 8)	

* 질소와 인에 대해서 지정호소유입구역에 한해 적용한다.

일본에서의 실질적인 사례를 보더라도 우리나라와 큰 차이 없이 생물학적 공법의 원리인 활성슬러지법, 접촉산화법, 산화구법 등에 의한 것으로 알려졌다. 특히, 일본에서는 고액분리설비에 분뇨를 투입하여 고형물은 퇴비화, 분리액은 정화처리를 하고 있으며, '93년 축산통계에 의하면뇨처리 정화시설을 설치한 곳이 5,480가구, 분뇨정화처리하는 곳이 2,260여 가구라고 한다. 다음은 일본의 양돈폐수처리 사례를 요약한 것이다.

◎ 도입사례 1. 순환식 TBX 생물막 공법

설치한 주사업체 : 官城村 바이크린 시스템

모든 2,000두 규모의 뇨·오수처리 시설을 만들어 생물학적으로 처리하는데 전처리설비로서 원수를 5mm 바스크린을 거치고 가압부상분리로 고형물을 제거하고 분리액은 처리수로서 5~10배 희석해서 순환식 TBX 생물막법에 의해 처리한다. 여기서 TBX 생물막법은 플라스틱이나 잠석 등의 여재에 미생물을 부착시켜 유기물을 처리하는 것을 말하며 TBX는 규산질 원료와 석회질 원료를 혼합시켜 기포제를 가해 발포 경화시켜 약 180℃의 포화수증기 조건에서 합성시킨 다공질 규소산칼슘 수화물 담체이다. 원수의 BOD, SS는 각각 10,000mg/l를 BOD 60mg/l, SS를 120mg/l를 목표로 하여 처리하고 있다. 정화설비 전에 민원의 대상이었는데 그 후 민원이 없었다. 설치자금은 村의 보조금에 의해 설치했다. Fig.1은 순환식 TBX 생물막 정화시설 공정도이다.

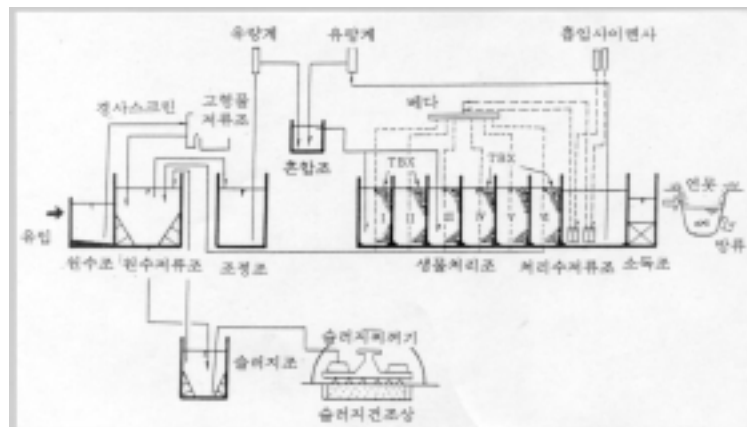


Fig.1 Flow sheet of circulative TBX biofilm purification process

◎ 도입사례 2. 회분식 활성슬러지 공법

설치한 주사업체 : (有) 山水園

번식, 비육돈 1만두를 사육하며 돈분뇨는 스크레퍼에 의해 긁어내어 수분 조정 후 발효퇴비화가 이루어지고 돈사 세정수를 포함한 뇨·오수 84㎥/일은 오수처리시설로 유입된다. 오수는 무회석 처리로 탈질효과가 큰 회분식 활성슬러지법에 의해 처리되며 그 공정의 흐름도는 Fig.2와 같다.

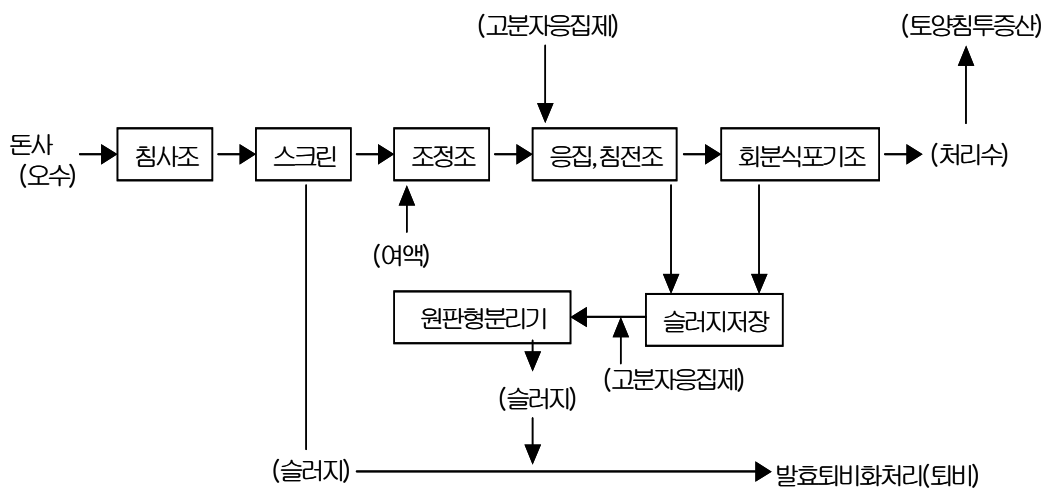


Fig.2 Swine wastewater treatment process

유입 BOD는 분이 30% 정도 혼입된 상태로서 평균 6,000mg/ℓ 였는데 처리수는 BOD 10mg/ℓ, COD 147mg/ℓ, SS 136mg/ℓ, TKN 86mg/ℓ, 암모니아는 53mg/ℓ로 처리된다. 상기공법의 특징은 스크린설비인데 스크린설비에서 고형물과 BOD 원인이 되는 미세입자를 제거시켰기 때문이다. 활성슬러지 처리에 오탁부하량을 증감화시키기 위해 고분자응집제를 사용한 것도 처리수의 수질을 양호하게 한 원인이 된다.

제5절 결론

1. 돼지 두당 분뇨발생량은 성장단계별, 체중, 사료섭취량, 돈사환경 및 돼지의 건강상태에 따라 달라진다.
2. 돈사의 폐수발생량은 청소방법에 따라 차이가 나며 세척수를 포함한 배출원 단위는 8.6ℓ(분 1.6ℓ, 뇨 2.6ℓ, 세척수 4.4ℓ)로 보고 있다.(환경부고시 1999-109호)
3. 스크레퍼식 돈사에서 분뇨폐수의 pH는 알칼리성을 띤 평균 pH 9.56이며, 비중 1.014, 밀도 1.0121, 점도 1.39cp, 알칼리도 5,029~14,225mg/ℓ, CODcr 1,434~16,628mg/ℓ, BOD 342~7,320mg/ℓ, SS 163~2,466mg/ℓ, TKN은 1,617~5,594mg/ℓ, T-P는 6.93~28.39mg/ℓ 였고, 암모니아는 1,677~5,253mg/ℓ 의 범위를 나타냈고, 양돈장별, 채취일자별 큰 폭의 차이를 보였다.
4. 슬러리돈사 폐수의 평균 pH는 8.02, 비중 1.036, 밀도 1.022, 점도 6.56cp, 알칼리도 6,765~13,732mg/ℓ, CODcr 45,634~109,791mg/ℓ, BOD 17,850~44,760mg/ℓ, TS 33,390~64,136mg/ℓ, TKN 5,623~7,315mg/ℓ, T-P는 67.37~220.69mg/ℓ, NH₃-N는 3,784~6,902mg/ℓ 로서 양돈장별 및 채취일별 크게 차이가 있었다.
5. '98년말 규제대상농가 82,647개소중 91%에 해당되는 75,356개소가 적정처리시설을 갖추었고, 이중 17%에 해당되는 12,872개소가 정화처리시설에 의존하고 있다.
6. 일본은 돼지사육시설 총면적이 50m²이상 규모일 때 축사구조, 오수처리 여부를 의무적으로 신고하게 되어 있으며 회석수를 이용해서 방류수 농도를 조작하는 것을 방지하기 위해 총량규제를 강조하고 있다. 특히, 고액분리설비에 의해 생성된 고형물은 퇴비화, 분리액은 생물학적 정화처리를 하고 있었다.

제3장 슬러리돈사 폐수의 고액분리시스템 개발

제1절 서론

우리나라 양돈설비는 거의가 유럽형의 슬러리돈사가 주종을 이루고 있으며 슬러리돈사 폐수에는 고형물이 최소 30,000mg/ℓ 이상 함유하기 때문에 이를 무시하고는 어떠한 정화공법을 적용하더라도 매우 어렵다고 판단된다. 돈분은 여러 가지 입도를 갖는 고형물에 따라서 구성되며, 이 고형물의 입도에 따라 미생물의 분해 등이 달라진다. Table 11.에는 돈분 입도별 고형물량 및 BOD농도를 구분해서 표시한 것인데 입도가 105 μ m 이상의 거칠고 큰 물질은 49%를 차지하고 1~105 μ m의 미세고형물은 43.5%이고 1 μ m이하의 용해성 물질은 7.5%이다. 이 가운데 BOD량은 25 μ m 이하의 것이 84%로 특히, 25~1 μ m의 것이 65%로 거의 대부분을 차지한다.¹⁰⁾

Table 11. Distribution of swine wastewater solid size(μ m) and BOD

입도 (μ m)	고형물 (%)	BOD	
		mg/ℓ	%
105이상	49.0	590	11.1
105~46	6.3	834	2.4
46~25	6.9	906	2.5
25~1	30.3	6,540	65.2
1이하	7.5	4,360	18.8

돈사의 폐수처리는 미세고형물질을 분리하므로써 오탁부하량을 경감시키는 결정적인 수단이다. 또, 입도별 산소소비 경향을 보면 Table 11.에 나타난 것 같이 1 μ m 이하인 것은 BOD₆로 나타내는 산소소비량에 대하여 거의 30일을 경과해도 1.4배정도 상승하지만 입도가 커짐에 따라서 특히 46~105 μ m인 것은 BOD₆의 3배의 산소소비량에 달하고 있다. 즉, 입도가 큰 고형물은 미생물처리 과정에서 가용화가 진행되어 BOD₆로 이행하여 BOD부하량의 증대에 따라 처리성능이 저하되는 원인이 된다. 그러므로 양돈폐수를 정화처리로서 성공하기 위해서는 생물학적공정 전의 앞단계 공정에서 고액분리시스템이 필수적이라 생각되어 본 연구진은 고액분리를 위한 최적 응집제 선정

및 주입량을 산출하고 경제적이면서 현장 적용이 가능한 실용적 공정을 도출하여 설계/ 제작, 현장에 설치 운영하여 문제점을 여러 차례 수정/ 보완해서 실용화가 될 수 있도록 설계를 작성하였다.

제2절 고액분리에 대한 국내의 수준

2.1 우리나라의 고액분리 수준

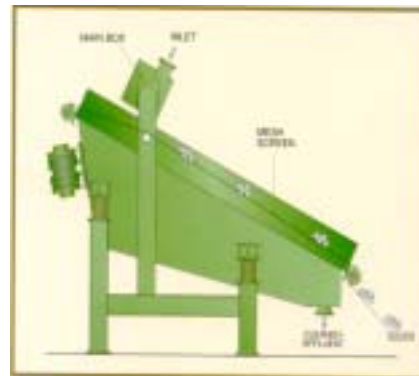
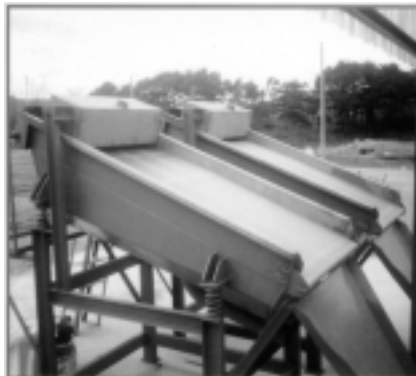
폐수를 대상으로 한 고액분리의 설비 및 장치에 대한 조사는 특허청의 출원내용을 요약해서 다음과 같이 정리하였다.

- 폐수에 가압식 산소용해 후 미세기포 주입으로 고형물을 물과 분리시키는 장치 (일반적인 가압부상장치)
- 폐수에 응집제 주입 후 고형물을 플러화 시킨 후에 미세기포에 의해 부상시켜 고액분리하는 장치(응집 후 가압부상장치)
- 축분뇨에 흡수성의 PVA 스폰지를 투입하여 축분 내 수분을 흡수시킨 후 흡수한 수분을 진공흡입시키는 장치
- 축분 내의 톤모나 협잡물제거기로서 일명 스크린설비라고 하며 우리나라 양돈장에서 대부분이 이 설비를 고액분리기라고 한다. 여기에는 진동식과 고정식으로 구분된다.
- 원심고액분리기: 이는 축산폐수에 응집제를 주입하여 저속 Screw decanter에 의해 축분 내의 고형물과 수분을 분리하는 설비인데 후단에 가압부상조가 설치되어 있다. 일반적으로 Screw decanter에만 의존할 때 잔존 고형물이 많은 편이다.

본 연구와 관련되는 특허건수는 '91년 이후 2000년 현재 약 67건이며 축산폐수에 관한 것은 약 22건 정도로 확인되었다. 본 연구와 직접적으로 관련된 이종성의 미세기포에 의해 부상공법으로 축산폐수를 고액분리 시키는 방법은 없었다.

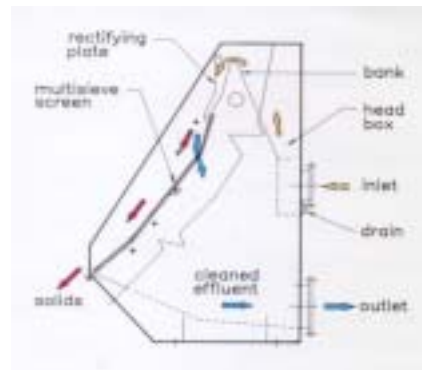
사진 2.는 우리나라 축산시설(장)에 설치되어 있는 고액분리용 스크린 설비이다.

원리 : Motor의 진동으로 스크린에 진동이 전달되므로서 고액분리 된다.



photo,2 Vibration screen

원리 : 슬러리폐수가 투입구에서 Head box에 차게되면 월류되어 스크린 표면을 흘러내린다. 이 때 기울기에 의해 고형물질은 하부로 떨어진다.



photo,3 Multisieve screen

2.2 외국(일본)에서의 고액분리 수준

일본에서는 축산폐수에 함유되어있는 고형물을 이화학적 및 기계적인 방법을 동원해서 제거하는 것이 대부분이었다. 그 방법은 Table 12.에 나타난 바와 같이 액분과 고형물의 비중차를 이용한 침전 또는 부상, 고형물의 입경을 이용한 체로 치는 방법, 여과, 기계적인 압력을 가해서 액분을 배제하는 압착의 3종류가 있다. 이 외에 스폰지 공극에 생기는 모관현상을 이용하여 액분을 흡수시키는 방법 등도 실용화되고 있다. 또한 일반적인 상태에서 침전하지 않는 콜로이드 등은 등전점으로 조정하여 응집시켜 침전시키는 약제 응집은 여과나 침전 또는 부상분리 등과 조합시켜서 응용하고 있었다.

Table 12. Major methods of solid/liquid separation in Japan¹⁰⁾

분 류	원 리	필요 설비, 장치 및 약제
침전, 부상	비중(비중차, 증력증가)	침사조, 침전조, 원심분리(스크류데칸터), 가압부상분리 등
체별 여과	입경의 대, 소	진동체, 회전체, 모래여과, 웨지와이어스크린, 필터프레스, 주행여포형슬러지 탈수기 등
압착	압착	롤프레스, 스크류프레스
기타	모관현상	모세관탈수, 다중원판형 탈수기
응집침전	등전점, 약제의 화학반응에 의한 용해도의 변화 → 침강성 증대	염화제2철, 고분자응집제, 황산알루미늄, 폴리염화알루미늄(PAC), 약품주입펌프, 각반반응조, 조절기 등

이들 중 어떤 방법을 선택하는가는 현장의 사정, 폐수특성 등을 고려해서 선택한다. 일반적으로 처리대상의 고형물과 액분의 비중차, 입경의 대소, 폐수의 점성 등에 따라 적용해야할 고액분리법이 정해진다. 예를 들면, 폐수의 점성이 적은 스크레퍼식 돈사폐수는 점성이 적고, 고형물의 입경이 어느 정도 크기를 지니고 또, 비중차가 크게되면 상압하에서 침전법이나 체로 거르는 방법으로도 쉽게 분리할 수 있다. 같은 폐수일지라도 고형물의 입경이 적을 때나 고형물과 액분의 비중차가 적은 경우에는 원심분리나 약제응집과 여과를 병용해서 채용하고 있었다. 폐수의 점도가 높지 않으면 폐수가 여과망을 통과하기 위해 또는 고형물을 제거시키기 위해 외부에서 힘을 가하는 것이 필요하다. 만약 점도가 높은 폐수의 고액분리에는 압착법을 이용한다. 폐수를 압착하는 장치는 크게 롤 프레스, 스크류프레스, 필터프레스 3종류가 있다.

1) 롤-프레스

폐수를 물 사이로 통과시켜 고형물을 먼저 빼내고 착즙을 바로 앞에서 회수하는 것으로 섬유상 모양으로 쉽게 처리되지만 원폐수나 슬러지에는 고형물이 착즙으로 흘러 물로 빨려 들어가는 것이 좋지 않으므로 착즙 능률이 저하된다. (Fig.3 참조) 그래서, 물 사이에 여과망을 좁히고 폐수를 이곳으로 주입하면 고형물은 여과망을 막아 주므로 물을 통과하게 되어 고액분리가 좋아진다.

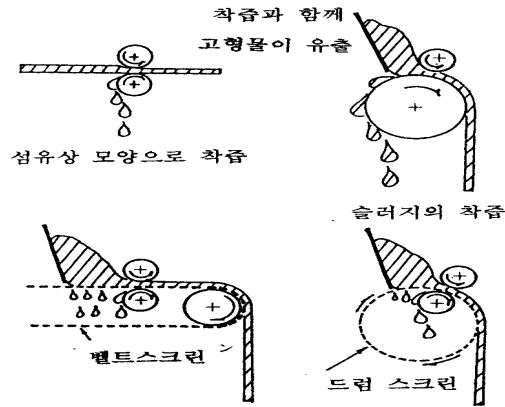


Fig.3 Operating example of roll-press

이 여과망에 원통상으로 성형된 구멍 뚫린 철판을 사용하는 드럼스크린형 롤-프레스(Fig.4)와 벨트모양으로 성형된 여과망을 사용하는 벨트스크린형 롤-프레스(Fig.5)가 있다.

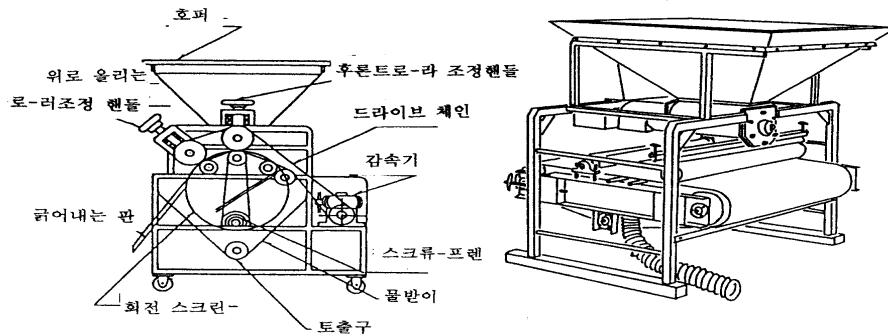


Fig 4. Roll-press of drum-screen type Fig 5. Roll-press of belt-screen type

물-프레스식 고액분리기에는 드럼스크린형, 벨트스크린형 모두 스프링을 끼워서 가압 롤-러를 나사로 조여 메고 이 나사를 감아 조이는 량으로 가압량을 가감하는 구조이다.

2) 스크류프레스

구멍이 열린 원통의 한쪽에서 스크류에 따라 대상물을 밀어 넣어 중간에 설치한 액이 여과되는 부분(여액부)으로 액분을 분리시킨 후 다른 한쪽에서 고형물을 배출하는 장치이다. 고형물 배출을 유압, 스프링, 무거운 추 등으로 가감하거나 또는 스크류 축의 지름을 굵게하여 원통과의 사이의 공극을 좁게하여 원통내의 압력을 높인다. 일본의 大分현의 中林氏에 의해 개발된 다판식 고액분리기(Fig. 6)는 스크류프레스형 고액분리기의 형식이고 그 특징은 액여부를 원통과 같은 직경의 구멍 뚫린 철판으로 구성되어 있고 이것을 1매 이상 요동시켜서 망의 작은 구멍이 메워 지는 것을 방지하는 구조이다.

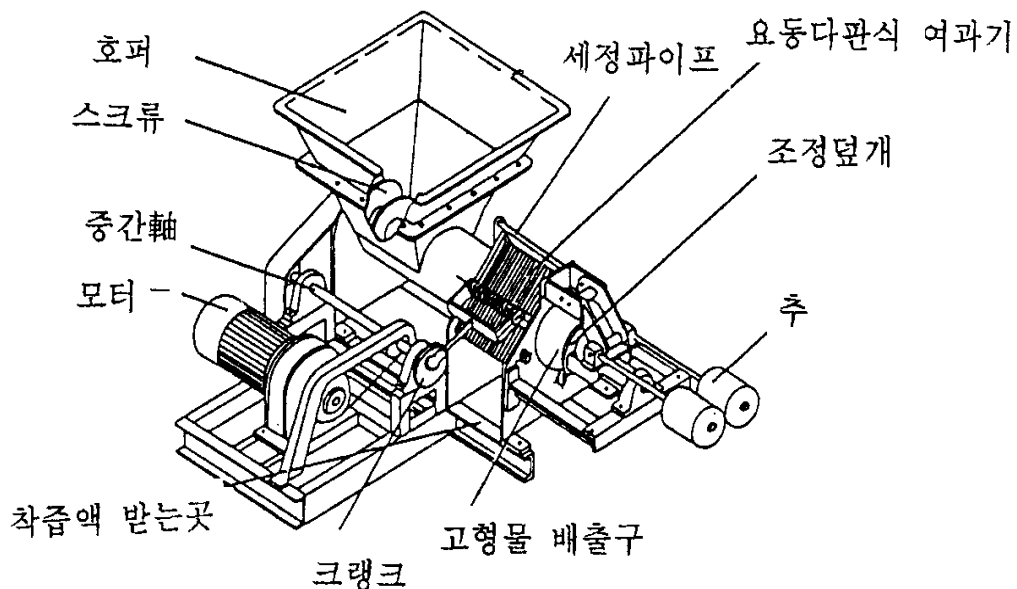


Fig. 6 Multistage solid/liquid separator

스크류프레스형 고액분리기는 스크류가 대상물을 역지로 투입하는 것에 의해 생기는 원통 내의 압력에 따라 액분을 액여부를 통하여 외부로 배출시키고 있다. 그러므로 고액분리 능력은 액분의 액여부 통과 저항과 스크류에 의한 처리대상물의 밀어 넣는 정도에 따라서 좌우된다. 가축분뇨의 점도가 높으면 액여부의 통과 저항이 높게되므로 효율이 나쁘며 회석을 많이 하면 밀어 넣는 능력이 저하되어 처리효율이 저하된다.

3) 필터프레스

처리대상물을 여포에 싸서 가압하는 것으로서 잉여슬러지 탈수에 사용되고 있다. 슬러리돈사의 분뇨에서는 그 점성에 따라 액분이 여포를 통과할 때의 저항이 크기 때문에 일반적으로 사용하지 않는다. 고액분리기 선정에서 폐수내의 고형물 입경과 액분의 점성에 따라 다르다. 3가지 형식간에 대해 특과 실을 서술한다면, 벨트스크린형 롤-프레스는 소비전력이 적은 이점이 있지만 여망이 플라스틱제이기 때문에 마모가 빠르다. 스크류프레스의 하나인 다관식 고액분리기는 가장 고농도의 대상물을 처리할 수 있고 분리된 고형물의 수분도 적으며 처리대상물의 수분이 과도로 많게 되면 처리능률이 저하되어 소비전력도 크다. 드럼스크린형 프레스의 성능은 양자의 중간정도이다.

한편, 일본에서의 축산폐수를 생물학적공법으로 처리하기 전에 전처리 일환으로 폐수내의 미세고형물을 제거하기 위한 분리법을 소개하면 다음과 같다. 鳥取현大山에 있는 (有)山水園 양돈장 축산폐수(하루 84m³, BOD 6,000 mg/l, 분에 30% 노가 혼합되어있음)의 예가 된다. 미리 용해한 고분자 응집제(폴리메타크릴산에스텔계의 카치온응집제:MP-173H) 일정량을 첨가하여 축산폐수와 혼합 각반하여 고형물을 응집시켜 침전조에서 고액분리 시킨다. 그런 다음 침전물에 대해 다중원판분리기(Fig.7)에 의해 탈수시킨다.

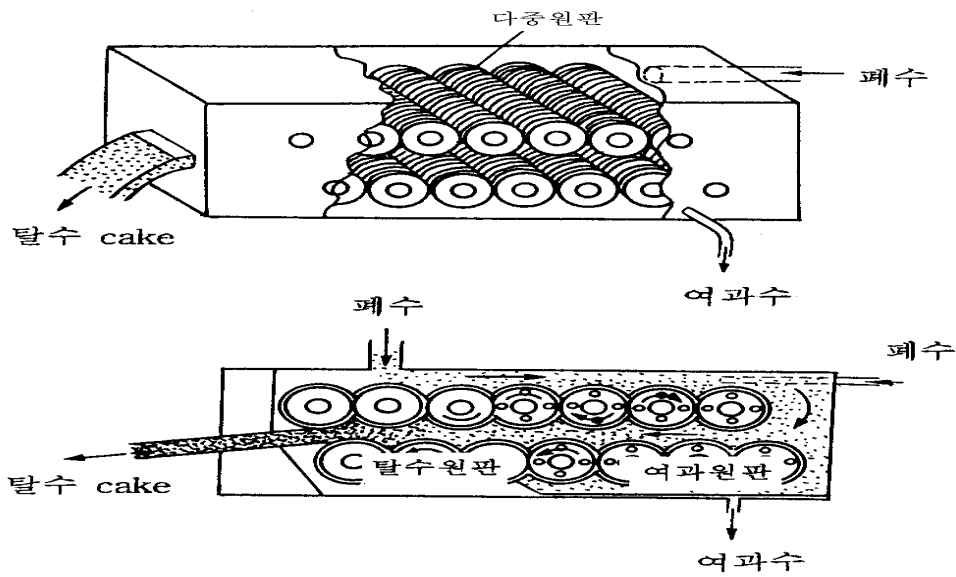


Fig.7 Multi-disk separator structure

응집처리 후 상등수에 대한 회분식 활성슬러지법으로 처리했을 때의 수질변화는 Table 13. 가 같다.

Table 13. Water quality after treatment by separator and activated sludge process on coagulant

	집수조폐수	응집처리수	제거율 (%)	정화처리수	제거율 (%)	전체제거율 (%)
pH	8.8	8.7	-	7.2	-	-
SS(mg/l)	6,210	254	95.9	136	46.5	97.8
COD(mg/l)	2,310	480	79.2	147	69.4	93.6
BOD(mg/l)	6,640	1,300	80.4	10.0	99.2	97.4
TKN(mg/l)	3,260	394	87.9	86.0	78.2	97.4
NH ₃ -N(mg/l)	1,970	543	72.4	53.0	90.2	97.3

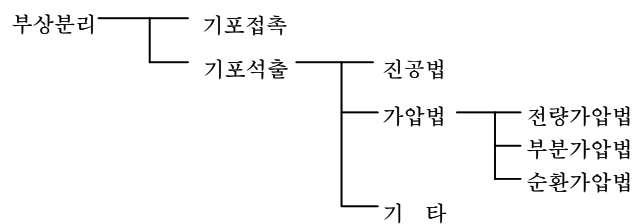
* 고분자응집제첨가량 : 100mg/l, 폐수 - BOD용적부하 : 0.23kg/m³.일, 수온 23°C

이 외에 일본에서는 축산폐수를 생물학적으로 처리하기 위해 전처리 설비로 특별한 고액분리 설비 및 장치가 있는 것은 아니며 성능 좋은 체를 이용하거나 스크린장치를 사용한 후에 가압부상법 및 침전법으로 고액분리 하는 것이 고작인 것 같다.

제3절 고액분리를 위한 부상 이론^{10), 11), 12)}

슬러리 혼분폐수에는 고농도의 고형물질이 함유하므로 고형물질을 침전이나 여과 또는 부상시켜 제거하는 방법이 동원되고 있다. 침전에 의한 고형물질 제거에는 한계가 있다. 즉, 혼사폐수에는 침강속도가 느린 미세입자나 가벼운 입자 및 커다란 물질의 농도가 원체 많기 때문이다. 여과에 의한 제거도 가능하겠으나 시간당 처리량과 경제성에 문제가 있다. 그래서 현실적으로 가능한 것이 부상시켜 제거하는 방법도 고려할 만 하다.

부상(flotation)은 고체입자나 액상입자를 액상에서 분리하는데에 이용되는 단위 조작이다. 부상은 미세기포(일반으로 공기)를 액상에 도입해서 행한다. 기포가 입자에 부착하여 부력의 작용이 충분하게 커지면, 액체보다도 밀도가 높은 입자가 부상하는 것이 가능하게 된다. 또, 액체보다도 밀도가 낮은 입자(물에 현탁한 기름 등)도 한층 부상하기 쉬워진다. 부상은 액체-기체, 액체-액체의 계면이 관여하는 계면현상을 응용하는 분리방법으로 계면현상으로는 습윤 및 흡착의 물리화학적 작용이 응용되는 것으로 액체-기체, 액체-액체 계면에 있어서 입자의 습윤 또는 용질흡착을 응용하는 분리법이라고 정의할 수 있다. 그러므로 부상은 광의적으로는 현탁입자에 기포를 붙여 부상시켜 포말로서 분리하는 방법이나, 기포를 이용하지 않고 서로 용해되지 않은 액체 그 액상 계면에 있어서 현탁입자의 습윤을 응용하는 방법 등 액체-기체, 액체-액체의 계면에 있어서 습윤 및 흡착작용을 응용하는 모든 방법에 대하여 불려지며, 여기서는 기포를 이용하여 부상분리하는 방법에 대하여 설명한다. 일반적으로 부상분리법은 현탁물에 기포를 부착시켜 외관 비중을 작게하여 현탁물을 수중에서 분리시키는 방법으로 그 기포의 발생 방법에 따라 크게 나누어서 다음과 같이 분류된다.



기포를 발생시키는 방법에는 기포접촉법과 기포석출(析出)법이 있으며, 전자는 산기관 등을 통하여 기포를 물 속에 도입하여 기포를 분산시켜서 그 표면에 현탁물질을 부착시켜 기포와 함께 부상시킨다. 후자는 물 속에 강제적으로 용해시킨 공기 또는 물 속에 용해되어 있는 기체를 압력을 저하하는 것 등에 따라 기포를 발생시켜서 현

탁물질에 기포를 부착시켜서 부상분리를 한다. 기포의 석출방법에는 진공법, 가압법, 기타가 있다.

(1) 진공법

기체를 상압(常壓)하에 용해시켜 그것을 밀전한 조 내에 감압하는 것에 따라 용해 기체를 기포로서 석출시키는 것으로 기포의 발생량에 한계가 있다.

(2) 가압법

기포를 가압하에서 포화상태까지 용해한 후 상압(常壓)으로 되돌리는 것에 따라 기포를 석출시키는 방법으로 가압력을 변화시키는 것에 따라 석출기포량을 조정할 수 있다. 가압법에는 원수를 전량 가압하는 전량가압방법과 원수의 일부분을 가압하는 부분가압법 및 부상분리 한 처리수를 순환 이용하는 순환수 가압법이 있다. 이 가운데 순환가압법은 다른 법에 비해 문제점도 없고 또, 순환수의 양을 가감하는 것에 따라 석출기포량이 조정 될 수 있는 이점을 가졌기 때문에 현재 사용되고 있는 예의 대부분은 이 방법이 채용되고 있다.

(3) 기타의 기포 석출법

기타 기포를 석출시키는 방법으로서는 물에 직류저전압을 걸어 전기분해에 의해 기포를 발생시키는 방법(전해법)이나, 중탄산나트륨 등에 의해 이산화탄소를 발생시키는 방법(화학반응법)과 자비에 의해 기포를 발생시키는 방법이 있다.

3.1 부상분리법의 원리

1) 기포부착

통상 부상분리법은 고체입자에 미세한 기포를 부착시켜서 고체입자의 외관 비중을 물보다 작게 하여 부상시켜 고형물을 분리 하는 방법이므로 고체입자와 기포 부착이 제 1조건이 된다. 수중에 기포와 고체입자가 부착할 경우에는 氣液固의 三相의 접촉하는 점인 角을 이룬다. 이 각에서 물을 사이에 끼는 쪽의 각도를 접촉각 θ 라고 부른다. 이 접촉각 θ 가 크면 고체는 물에 거품을 내기가 쉽다. (친수성) 일반적으로 접촉각 $\theta > 90^\circ$ 의 물질은 소수성 물질, $\theta < 90^\circ$ 는 친수성 물질이다.

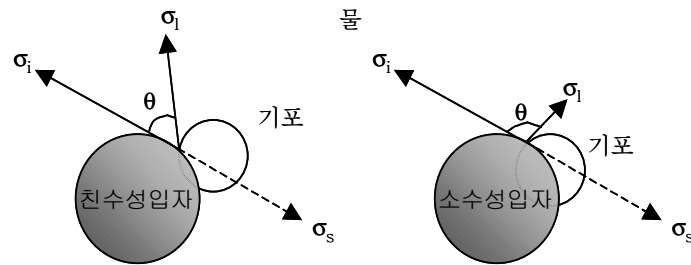


Fig. 8 Contact-angle of micro-bubble adhesion for suspended solid

Fig. 8에 나타난 것 같이 기, 액, 고 3상의 계면 장력이 균형이 잡힌 상태에서는 다음 young의 식이 성립된다.

$$\sigma_l + \sigma_i \cos\theta = \sigma_s$$

여기서, σ_l : 고체-액체의 계면장력
 σ_i : 액체의 표면장력
 σ_s : 고체의 표면장력

물 속에서 기포와 고체가 부착할 경우에는 그 전후에 있어서 계면의 자유에너지의 감소를 따라 그 힘의 양 W 는 다음 식으로 나타낸다.

$$W = \sigma_l + \sigma_i - \sigma_s = \sigma_l (1 - \cos\theta)$$

이 식에서 알 수 있는 것 같이 입자의 친수성이 높아 $\theta = 0^\circ$ 가 되면 $W = 0$ 에 부착과정은 자발적으로 일어나지 않는다. 반대로 입자의 소수성이 높게 $\theta = 180^\circ$ 가 되면 $W = 2\sigma_l$ 에 계면 자유에너지의 감소가 최대가 되고, 부착과정도 자발적으로 진행하기 쉽다.

2) 기포-입자의 부상

기포와 입자가 부착해도 부력이 충분하지 않으면 기포-입자는 부상하지 않는다. 기포가 부착한 고체입자에 작용하는 부력 F 는

$$F = V_A(\rho_l - \rho_g)g$$

여기서, V_A : 기포의 체적

ρ_l : 물의 밀도

ρ_g : 기체의 밀도

g : 중력가속도

기포와 고체입자의 부착력을 F' 라고 하면 기포와 입자가 분리되지 않게 하기 위해서는 $F' > F$ 의 조건이 필요하다. F' 는 접촉각 θ 이나 기포 크기 등에 의존하여 θ 가 큰 기포 지름이 적어지는 만큼 F' 는 커진다.

3.2 부상분리장치

1) 기포접촉식

폐수처리 등에서 잉여슬러지의 농축에 기포접촉식의 부상식출법을 이용한 가압부상농축과 구별되어 상압부상농축이라고 부르고 있다. Fig. 9에 상압부상농축처리 공정을 나타내었다.

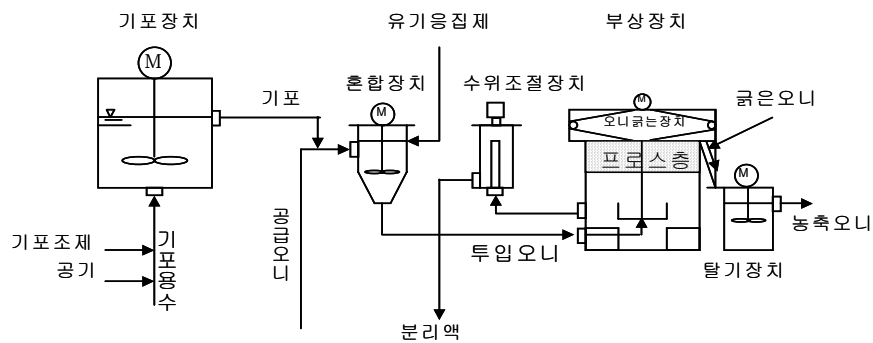


Fig.9 Flow sheet of fixed pressure flotation thickening process

상압부상농축설비는 부상장치, 기포장치, 혼합장치, 수위조정장치 등으로 구성된다. 기포장치에는 기포보조제 및 공기를 혼합한 물을 각반하여 미세기포를 생성하여 이 기포와 오니의 고형물을 혼합장치로 고분자응집제의 첨가에 따라 전기화학적으로 흡착시킨다. 다음에 기포가 부착한 고형물(플록)은 부상장치에 보내져서 부상분리, 농축된 후 오니굼는장치로서 회수되어 탈기장치로서 기포분을 제거시켜 농축오니가 된다. 분리된 물은 수위조절장치에서 월류한다. 이 설비의 성능으로서는 일반적으로 농축오니농도 4~5%로 고형물 회수율은 95~96%이다. 상압부상농축설비의 설계·조작 조건은 대개 아래와 같다.

- 고형물부하(부상단위면적당의 처리고형물량) : 통상 20~30kg DS^{m²h⁻¹} 정도로 고형물부하가 커지면 농축오니농도의 저하나 분리액 SS 농도의 상승을 일으킨다.
- 약품주입율 : 통상 기포조제는 0.05~0.1*(DS), 고분자응집제는 0.15~0.4*(DS) 정도이다. 고분자응집제의 주입과소 또는 기포조제의 주입과다는 농축오니농도의 저하 및 분리액 SS 농도의 상승을 초래한다.
- 기체·고체비(부입고형물량에 대한 부입공기량의 비) : 통상 0.08~0.1kg Air kg⁻¹ DS⁻¹ 정도로 이 값이 커지면 농축농도가 저하하고, 작아지면 분리액의 수질이 악화하는 경향이 있다.

2) 기포석출식

기포의 석출법은 공기를 수중에 강제적으로 가압용해시켜 그것을 대기압하에서 개방하여 압력저하에 의해서 공기의 용해도가 감소하는 것에 따라 여잉공기를 미세기포로서 발생시키는 가압석출식이 일반적이다. 그 원리를 응용하여 원수중의 부유하고 있는 현탁물질에 미세기포를 부착시켜 부력을 주는 부상분리처리를 하는 것이 부상처리장치이다. 공기를 용해 시키므로서 부상분리장치에서의 처리수를 일부 순환 이용하는 경우가 많으며, 장치로서 순환가압식인 것이 주류가 되고 있다. 순환가압식상 분리장치는 통상 응집조, 공기용해설비, 부상부분 및 필요한 자동제어장치 등으로 구성되고, 대표장치 공정도는 Fig.10에 나타내었다.

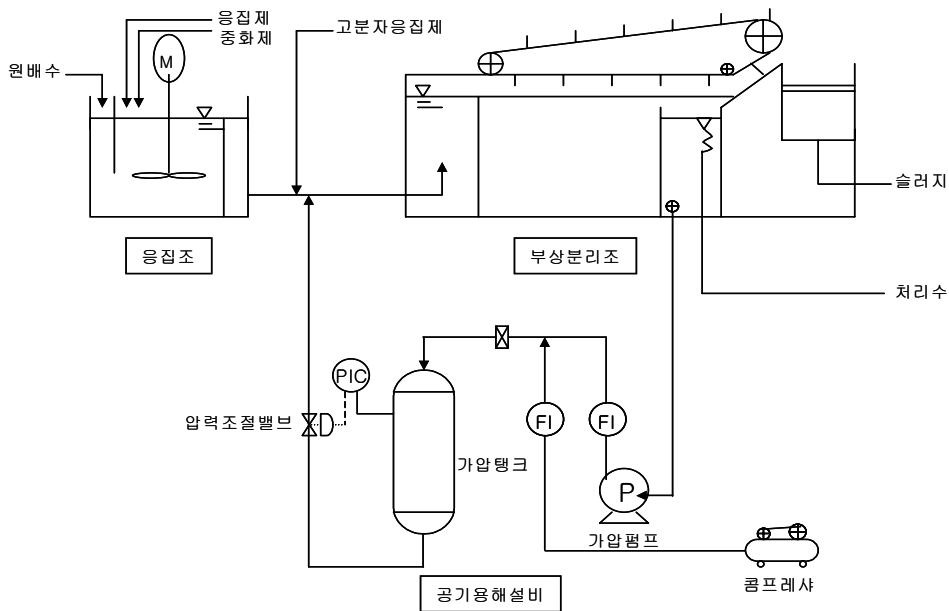


Fig.10 Circulative pressurization flotation system

- 응집조 : 부상 부상분리처리의 전처리로서 응집처리가 필요하며, 그 처리를 응집조에서 한 후에 부상분리조에 유입시킨다. 응집처리는 pH조정이나 미소현탁물질의 조대화를 목적으로 한 대단히 중요한 공정이며, 부상테스트 등에 따라 확인하여 최적인 조건하에서 반응처리 시킨다. 부상분리법에는 여러가지 목적을 위한 약품이 쓰여지는 일이 많고 이것을 총칭하여 부유제라고 부른다. 부유제에는 기포제(포말형성을 잘하기 때문에 이용된다), 포수제(현탁물질을 습윤을 좋게 하여 부유성을 개선하기 위해 이용된다), 응집제(현탁물질에 플러를 형성시켜 기포와의 부착 개선 및 부착력 개선을 위해 이용된다) 등이 있고, 각각 처리목적에 따라서 사용되고 있다.
- 공기용해설비 : 가압수(순환수)를 보내는 가압펌프, 공기를 용해하는 가압탱크 공기공급원이 되는 컴프레샤, 가압용해수를 대기 개방하기 위해 감압밸브 등으로 구성되어 있다. 가압탱크내에 충전재를 내장한 것, 가압수를 스프레이 하는 것, 컴프레샤 대신에 에젝터로 가압 물 속에 공기를 강제 흡인하는 것, 라인믹서형식인 것 등 여러종류의 공기용해장치가 실용화 되고 있다.

- 부상분리조 : 응집처리된 원배수와 대기압하에 개방된 기압용해수를 혼합한 상태로 받아들여서 미세기포를 현탁물에 부착시켜서 이것을 부상 스크럼으로서 분리하여, 청정한 처리수를 하부에서 집수하는 조이다. 형상적으로는 각형인 것과 원형인 것이 있으며, 어느 것도 표면에 부상한 스크럼을 긁기 위해 스크레버, 하부의 처리수를 집수하는 기구, 바닥에 퇴적하는 중물질을 제거하기 위해 레이크 등이 장치되어 있다.

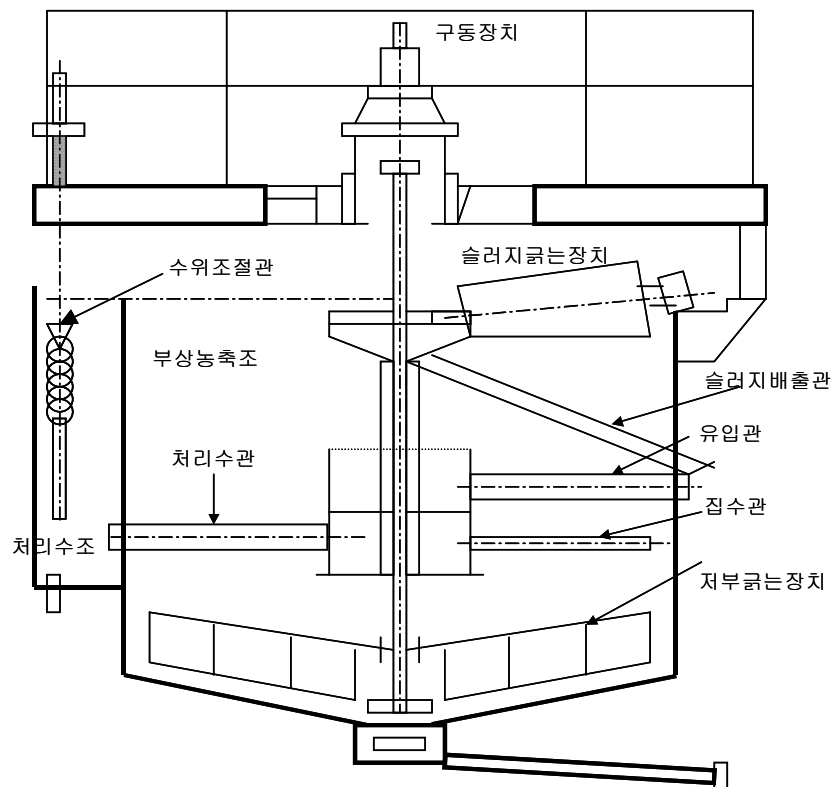


Fig.11 Flotation separate tank of round shape

주로 유량대비 대용량으로서 조 내에 정류관을 만들어 장치의 용적효율 업(up)을 겨냥한 것, 한편, 스크레버로서는 평판상이나 스크롤상인 것 등 여러종류의 것이 고안되고 있으며 그 한 예로서 원형 타입의 구조를 Fig.11에 나타내었다.

제4절 실험실규모의 고액분리시스템 설계 및 제작

4.1 개요

폐수처리에 일반적인 부상공법에는 용존공기부상법(DAF), 유도공기부상법(IAF), 공기부상법(AF), 진공부상법(VF) 등이 있는데 이 중에서 대표적이고 실용화 된 공법은 용존공기부상법(DAF, Dissolved Air Flotation)이다. 본 연구에서 개발하고자 하는 미세기포(micro-bubbles)에 의한 부상공법의 시스템과 기존 DAF 공법과의 차이점은 다음과 같다. 기존 DAF 공법의 원리는 가압탱크에 4~5kg/m³의 공기압축기와 Ejector로 공기를 불어넣고 공기가 잘 용해하도록 한 후 부상조로 보내게 된다. 이때 가압된 공기는 대기압 상태에서 직경이 70~150 μ m 정도의 기포가 발생되어 폐수내의 고형물 입자에 부착되어 물과의 부력차에 의해 물 표면으로 부상하여 최종적으로 물 표면에서 고형물이 농축되는 원리인데 비해, 본 공법은 용액 일부 또는 전부에 약 1.5kg/m³의 압력에 MI펌프로 대기중의 공기를 도입하므로 Henry's 법칙에 의해 수중에 기포입자를 10~50 μ m 정도로 미세하게 소형탱크에 용해시킨다. 소형탱크 내에 흡인 공기량의 조절은 유량계를 보고 밸브의 개폐에 의해서 행해지며 그 양은 MI펌프로 재송수하는 전체량에 비하면 얼마 안되고 펌프에 대한 공동현상이나 air binding의 영향은 없다. 그리고, 부유제(기포제)인 계면세제를 극소량 첨가하여 미세기포 입자경이 이온화를 띤 이중막의 초미세기포를 만들어 폐수 내로 분산시키고 폐수내의 고형물은 고분자 응집제의 첨가에 의해 조대화 된 플러를 미세기포에 전기화학적으로 흡착시켜 비중을 감소시키므로 부력 증가에 의해 부상조에서 순간적으로 부상시켜 부상층의 슬러지를 긁어 모으는 장치(Skimmer)에 의해 제거되어 농축 슬러지가 되고 분리액은 수위조절 설비에 의해 조 외로 월류한다. 이중막의 이온성 미세기포는 눈으로 볼 수 없는 입자로서 40%의 공기를 함유하고 있으며 고형물질 및 부유물질과의 부착력과 부상속도를 빠르게 하고 일단 부상되면 12시간 정도는 부상되어 있으며 40~60% 이상의 제거율을 갖는 강력한 이온성의 미세기포이다.

4.2 미세기포 생성 Generator 설계 및 제작

Fig. 12는 미세기포 생성 Generator인데 그 구성은 크게 기포발생 및 저장탱크, 순환펌프, 생성된 큰 기포를 미세하게 만드는 분사장치(MJP)로 구성된다. 이젝터를 통해 맑은 물 일정량을 용량이 24ℓ 되는 기포발생 및 저장탱크에 넣고 여기에 전하를 띤 계면부유제 극미량을 첨가한다. 기포출구밸브를 닫은 채로 작동시키면 순환펌프가 작동되면서 기포발생탱크에서 혼합수의 고압순환과 이젝팅에 의해 외부공기가 흡입되어 함께 혼합되면서 혼합액이 순환수 출구라인을 통해 순환수 입구라인을 거쳐 다시 기포발생탱크의 내부로 함께 분산되도록 하여 기포발생탱크의 내부에 다량의 미세한 기포가 저장되도록 하였다. 이때 탱크내의 분사장치는 직경이 3.2 mm 노즐로서 미세 기포는 강력한 유속으로 탱크내의 혼합액으로 다시 분사된다. 이렇게 여러 번의 반복 과정으로 기포는 미세하게 만들어진다. 특히 순환수라인의 MJP에 의해 기포는 더욱 미세하게 변화한다. 한편, 소량의 기포부유제가 물에 혼합되면서 용해될 때 이젝터에 의해 외부의 공기가 흡입되면서 MJP에 의해 미세한 기포로 만들어진다. 그러므로 자동적으로 기포부유제에 의해 안전한 이중성이면서 이온을 띤 포말미세기포가 생성된다. 이 기포가 폐수내의 고형물을 전기화학적으로 흡착, 응집시켜 고형물의 비중을 감소시키므로 부력 증가에 의해 물표면으로 순식간에 부상시키게 된다. 실험에 사용되는 순환펌프는 USA제품으로서 Model:up(s) 15~62F/150으로 소비전력 115W, 부하전류 0.5I, 최대양정7m, 최대유량 4m³/hr이다.

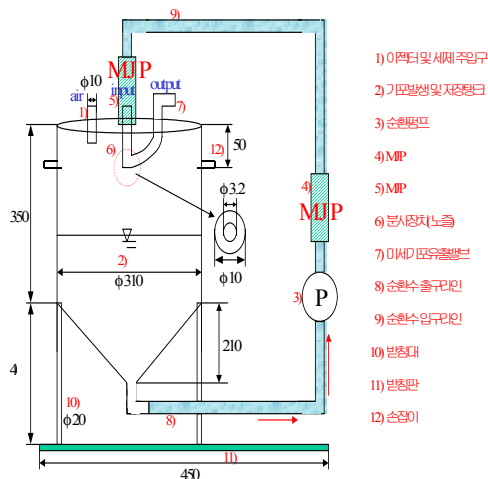


Fig. 12 Micro-bubble generator



photo. 4 Micro-bubble generator

4.3 응집반응조 및 부상분리조 설계/ 제작

응집반응조는 축산폐수내의 미소현탁물질의 조대화 등을 목적으로 필요한 공정이며, 이는 부상분리 처리의 전처리로서 그 처리를 응집반응조에서 행한 후 부상분리조로 유입시킨다. 용기테스트(Jar-test)와 부상 테스트 등에 의해 확인하여 최적 조건 하에서 반응시킨다. 축산폐수 내의 미소현탁물질 응집에는 일반적으로 황산만토, PAC, 염화제이철(III) 등의 응집제와, 고분자응집제 등이 함께 사용되지만 실제 장치상에서는 약품주입농도와 양 및 주입시점이 중요한 지표가 된다. 실험실에서 설계 제작된 응집조는 60ℓ 용량으로서 공정도는 Fig.13과 같으며 설비모형은 사진 5.와 같다.

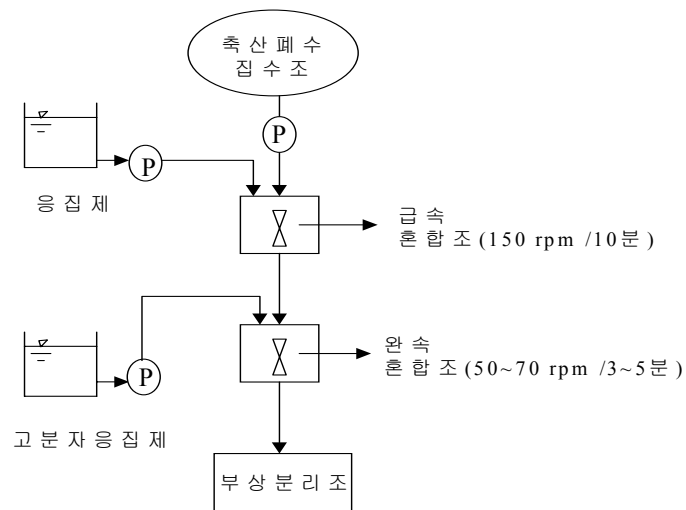


Fig.13 Flow sheet of laboratory scale reactor



photo.5 Coagulation tank and flotation separation reactor used for experiment

집수조, 급속·완속 응집반응조는 두께가 5mm 투명한 원형 아크릴원통으로 만들어 졌으며 집수조 용량은 축산폐수 60 l 를 저장할 수 있는 규모로 만들어졌다. 집수조에는 축산폐수를 집수 했을 때 자연 침전을 막고 균일한 농도가 유지되도록 rpm 80 ~100의 교반기를 설치하였다. 집수조에서 급속 응집반응조로 폐수를 이동하기 위해서는 소형 슬러지 펌프를 이용했고, 유량조정이 가능하도록 이송관에 볼밸브를 장착 하였다. 급속 응집반응조에는 rpm 150의 감속기를 장착하였고 용량은 체류시간이 10 분 정도 되게 설계하였다. 급속 응집반응조에서 완속 응집반응조로의 유입은 밀어내기 흐름으로 유입되도록 하였고 rpm 50 의 감속기에 용량은 체류시간이 3분정도 되게 설계했다. 응집제와 고분자응집제 주입 용기도 5mm 두께의 투명한 원형 아크릴원통으로 만들었고, 응집제 주입설비인 약품 정량펌프는 Master flex pump의 헤드를 구입하여 직접 제작해서 사용하였다. 한편, 부상분리조는 응집처리된 원폐수와 미세기포 발생 Generator에서 만들어진 미세기포와의 혼합된 상태로 유입시켜서 부상 고형물은 스키머에 의해 제거되고 분리액은 유입구의 반대쪽으로 월류된다. 형태는 직사각형인 것과 원형인 것이 있는데 본 연구에서는 직사각형인 부상분리조를 제작하였다. 여기에는 수표면에 부상한 고형물을 긁어서 제거해야 하기 때문에 체인형 스키머가 장착되어 있다. 그리고 분리액이 유출하는 지점 앞에 부상고형물이 월류되는 것을 막기 위해 정류판을 설치했고 조 내의 바닥면은 분리수가 유출되는 방향으로 경사지게 하였고 반대편에는 소량의 침전 슬러지가 생겼을 때 제거하기 위한 드레인밸브를 설치했다.

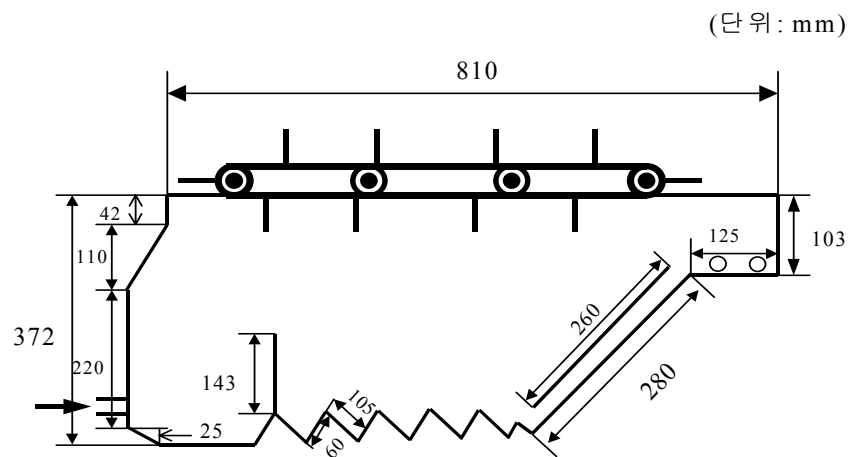


Fig.14 Flotation separate reactor used for experiment

실험실에서 제작한 직사각형의 부상분리조는 5mm 두께의 투명한 아크릴판으로 만들어 졌는데 그 재원은 다음과 같다.

길이 : 810 mm

폭 : 230 mm

스키머 모터 : 200 volt, 50 Hz, 1,300 rpm, panasonic

스키머 감속기 : model No, M8GA36M

Fig.15는 본 실험에 사용되었던 응집조, 미세기포발생 Generator, 부상조를 조합한 것이다.

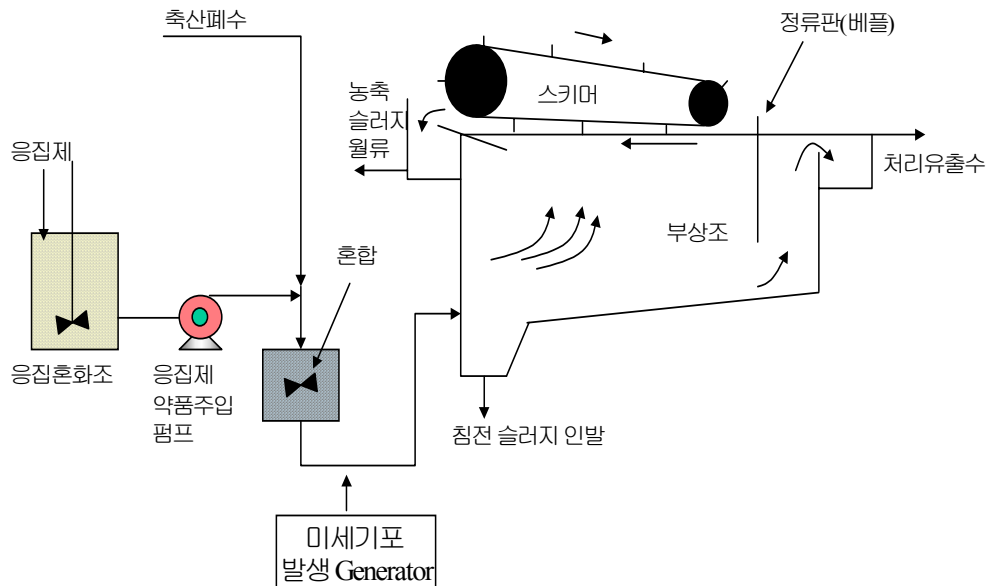


Fig.15 Composition sketch of solid/liquid separation system in laboratory scale

제5절 실험실규모의 미세기포생성장치 운전결과

5.1 미세기포생성장치 운전 및 결과

앞에서 설명된 미세기포생성장치(이하, Generator라 함)의 탱크에 수돗물 1ℓ 당, 기포부유제인 CT-29를 200~250mg 정도를 넣고 약 10분간 작동시켰을 때 다음의 사진들과 같은 결과를 보았으며, 본 연구에서 사용된 기포부유제의 화학성과 사용처는 Table 14.와 같다.

Table 14. Chemistry of Doubling micro-bubbles formation matter¹³⁾

부유제명	화 학 명	pH	사 용 처
CT-29	Cetyl trimethyl ammonium chloride	4.0~6.0	Hair condition, Antistic and softening properties
S-430	Sodium lauryl sulfate	6.0~7.0	sampoos, bubblebaths and detergents, toothpastes
OIMP-75	methyl-1-oleyl amino ethyl-2-oleyl imidazolinium	4.0~5.5	Fabric softener, hair conditioner

<결과 1>

사진 6. 좌측의 사진은 개발된 Generator에 의해 생성시킨 미세기포를 취해 증류수가 들어있는 실린더에 넣었을 때의 기포

사진 7. 일반적 DAF에 의해 발생된 기포



photo. 6 This study: micro-bubble

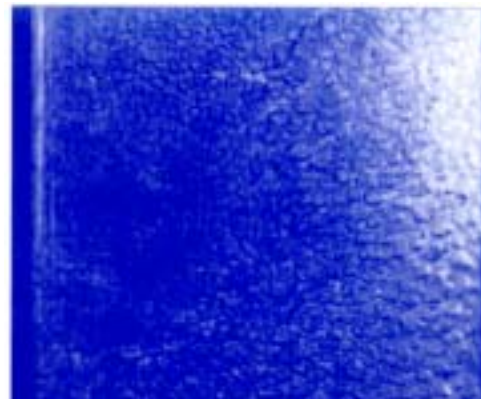
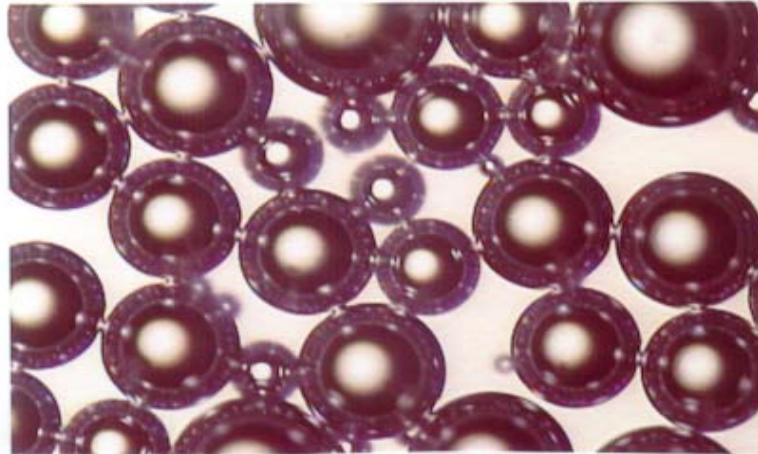


photo. 7 DAF micro-bubble

<결과 2>

사진 8. Doubling micro-bubbles(Japan Nikon 현미경, model: Labophot-2)

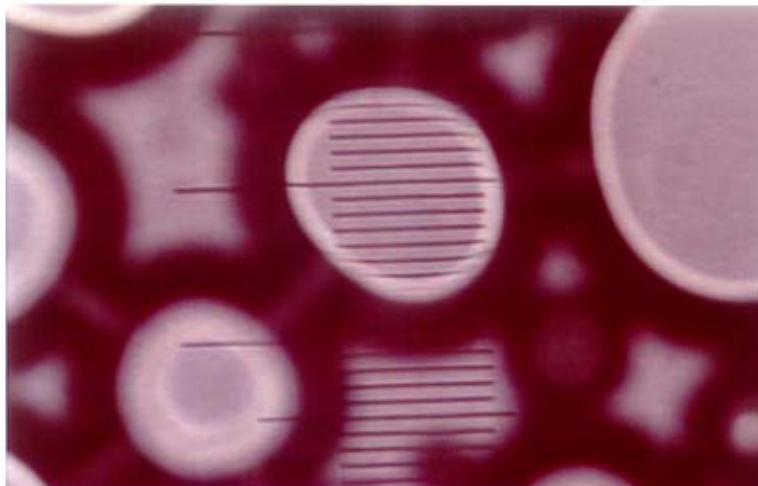


2000. 8. 19 , 100×, CT-29

photo,8 Doubling micro-bubbles

<결과 3>

사진 9. Doubling micro-bubbles size(10~50 microns)는 다음과 같다.



photo,9 Doubling micro-bubbles size

사진 8. 과 9를 근거하여 micro-bubbles의 shape를 도시해서 나타내면 다음과 같다.

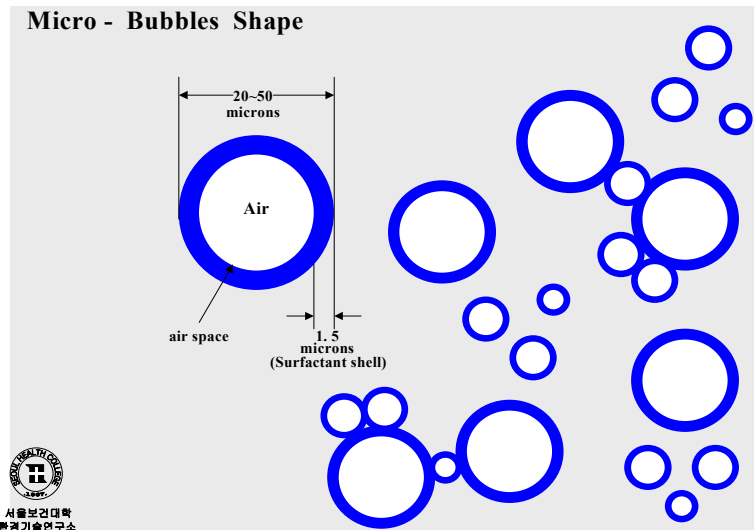


사진 6.은 미세기포 발생 Generator를 이용하여 발생시킨 미세기포를 취해 실린더에 옮겼을 때를 보여준 것인데 기포의 입자를 육안으로 볼 수 없을 정도로서 마치 수중에 안개가 용해된 것 같이 하얗게 보였다. 사진 7.은 가압(DAF 장치)에 의해 만들어진 미세기포를 물에 용해된 것을 나타낸 것인데 기포입자의 크기를 육안으로 볼 수가 있었다. 사진 8.은 광학현미경을 이용하여 100배율로 볼 때의 이중성의 미세기포 입자의 형상이고 사진 9.는 현미경적 micrometer로 기포입자의 직경을 측정한 것으로서 직경 측정은 크고 작은 기포들을 여러 개 측미하여 평균적으로 산출하였으며 그 범위는 10~50 μ 정도 였다. 그리고 이중성의 surfactant shell의 직경은 1.5 μ 정도였다. 한편, Fig.16은 본 연구에서 개발된 이중성의 미세기포와 일반적으로 현장에서 많이 사용하는 가압부상법에 의해 만들어진 DAF bubbles와의 수중의 존재상태를 비교해 나타낸 것이다. 생성된 DAF bubbles는 어느 정도 시간이 경과하게 되면 기포와 기포가 서로 합착(coalescence)이 일어나 총 기포 표면적이 감소가 되는 반면 본 연구에서의 이중성의 기포는 시간이 경과하더라도 합착이 일어나지 않아 총 기포 표면적은 일정한 것으로 나타내었다.

Comparison of bubble sharp

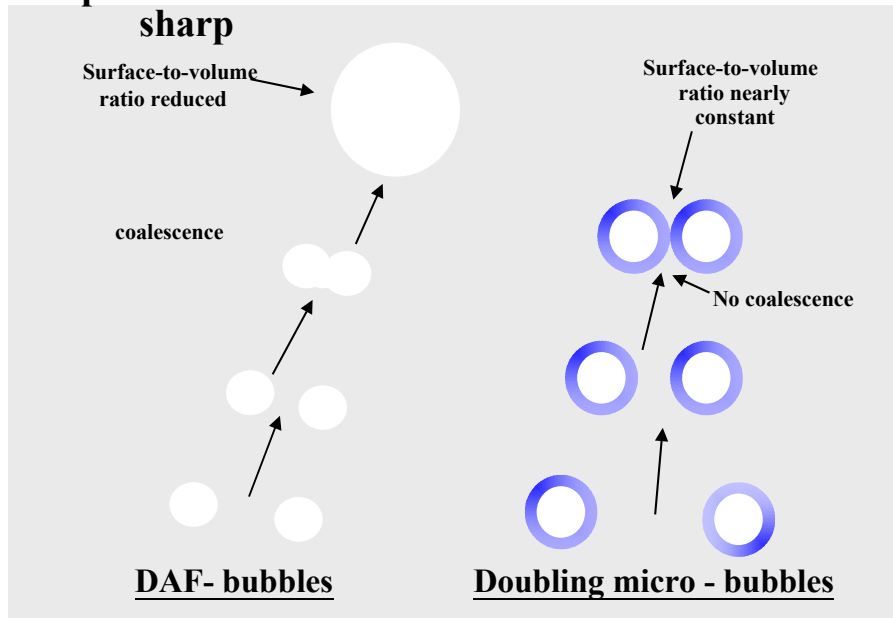


Fig.16 Comparison of coalescence between Doubling micro-bubbles and DAF-bubbles

Fig.17은 미세기포 발생장치에 의해 만들어진 이중성의 이온화를 띤 기포에 의해 수중의 미소현탁물질이 흡착되는 메카니즘을 나타낸 것이다. 폐수중의 미소현탁물질 (soluble contaminants)은 양전하, 음전하를 모두 띠고 있는 것이 대부분인데 전하를 많이 띤 쪽이 우세하게 작용하게 된다. 이런 것이 합쳐서 극성을 띤 미립자 (polarized particle)를 형성하기도 한다. 그 후 미세기포면 위에 활성을 띤(이온성) 계면에 흡착이 된다. 그러므로 응집된 고형물 플럭의 비중이 적어지며 동시에 부력증가로 수표면으로 부상하게 된다. ^{15), 16), 17)}

Micro-bubble : Absorbs pollutant particles or soluble contaminants with charged surfaces.

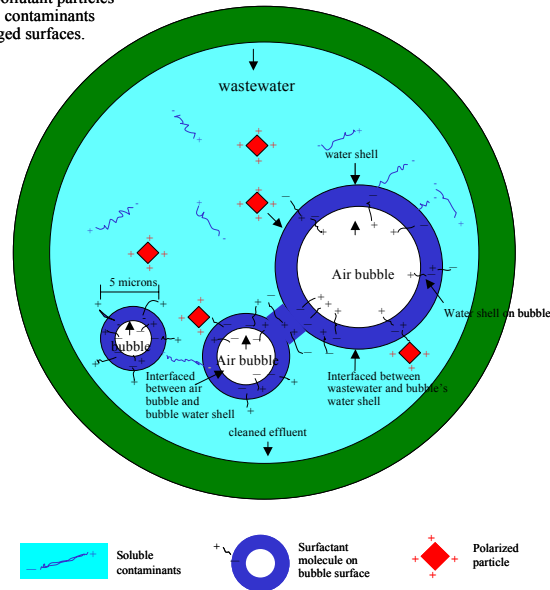


Fig.17 Absorb mechanism of Doubling-Ionic bubbles and micro-suspended solid

<결과 4>

Table 15. 는 Generator에서 만들어 낸 미세기포와 현장에 많이 설치 운영되고 있는 DAF 설비에 의해 만들어진 기포간의 비교표이다.

Table 15. Comparison between DAF and Doubling micro-bubble in a study

	단위	본 연구의 미세기포	DAF 기포*
기포 직경	microns(평균)	35	80
기포 수	per liter (billions)	16	0.2
기포 표면적	m ² /ℓ	617,132	44,000
기포 체적당 공기함량	% by vol.	35~40	5
기포 표면 화학적 조정	-	가능함	불가능

* Ewiron-Bubble Flotation, Inc, 제공

DAF기포 80 μ 에 비해 본 Generator에서 만들어 낸 기포의 직경은 평균 35 μ 으로 약 2.3배가 적었으며 기포수도 DAF 기포와는 비교가 되지 않을 정도로 160억 개였다. 그리고, 폐수 내 고히입자의 부상능력은 폐수 속에서의 공기용해도에 의해 좌우되는데 미세기포는 DAF기포에 비해 용적당(ℓ) 약 7~8배가 큰 35~40%의 공기를 함유하고 있었고 이로 인해 기포의 표면적도 617,132 cm^2/ℓ 로 DAF와는 무려 14배정도 차이가 났다.

5.2 응집반응조 및 부상조 운전과 결과

축산폐수 내의 현탁물질을 1차적으로 응집반응조에서 플러카시커 부상조에서 미세기포 입자에 쉽게 흡착되도록 한 후 부상조에서 고액분리 시킨다. 그러기 위해서 응집약품을 사용하게 되는데 투입 전에 축산폐수에 적용되는 응집제의 종류와 농도, 투입량 및 고분자응집제 종류 및 응집조건 등은 Jar-test를 거쳐서 알 수 있게 된다. 여러 종류의 응집제중에 축산폐수에 적용되는 응집제는 시중에서 쉽게 구입할 수 있는 황산반토와 염화제이철(III)이었으며 고분자응집제는 AP-520C로 확인되었다. Table 16. 은 응집반응 실험에 사용된 약품별 운전조건이다.

Table 16. Operation conditions of used coagulant for coagulation test

실험	약품명	농도(%)	투입량(ml) [*]	교반조건(rpm)	응집시간(min)
1	염화제이철(III)	17	10	150	10 이내
2	황산알루미늄	20	20	150	10 이내
-	AP-520C ^{**}	0.1	10	50	2 이내

* 축산폐수 1 ℓ 당 투입량

** 고분자응집제로 실험 1, 2에 같이 적용했음

한편, 응집실험에 사용된 슬러리돈사 폐수는 경기도 양평군 축산폐수 공공처리장에서 채취된 것으로 응집 및 고액분리전에 대한 농도는 다음과 같았다.

BOD : 22,255 mg/ℓ	CODcr : 54,860 mg/ℓ
총고형물(TS) : 29,800 mg/ℓ	부유물질(SS) : 26,649 mg/ℓ
총질소(T-N) : 4,600 mg/ℓ	총인(T-P) : 600 mg/ℓ
색깔 : 검은색	

그리고, 제작된 부상조의 운전은 다음과 같이 실행하였다. 반응조에서 응집제에 의해 미소현탁물질을 응집, 플럭화 시킨 후에 자연유하식으로 부상조 유입구로 유입시켰다. 이때 유입구에서 Generator에 의해 생성된 미세기포 일정량, 즉 유입수 대비 1/10~1/30 정도를 유입 혼합시킨 뒤 부상조 유입구 하부로 유입시켰다. 이때 플럭들은 기포 입자에 흡착된 후 부상조 수표면으로 순간적으로 부상되었다. 부상된 부상층(고형물층)은 스키머 제거기에 의해 직사각형부상조 한쪽으로 모아져서 부상조 외부로 빠지게 되고 하부의 분리수는 부상조의 외부로 자연 유출된다.

<결과 1> : 실험실적 고액분리시스템의 운전결과 (I)

Fig.18에는 실험실적 규모의 고액분리시스템에 의해 실험실에서 운전한 결과를 나타낸 것이다.

- 실험실적 고액분리장치의 운전 결과

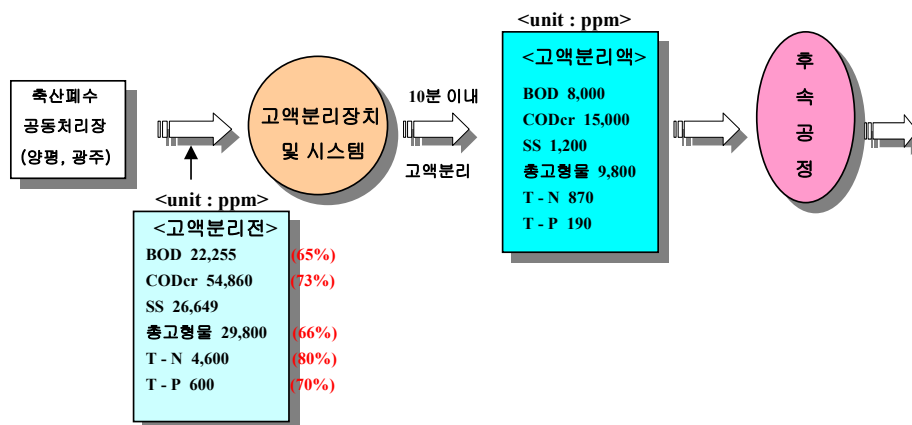


Fig.18 Operating results of solid/liquid separation system

미세기포장치에서 만들어진 기포와 응집반응조에서 만들어진 플럭을 혼합시킨 후 부상조에서 부상시킨 결과 현탁고형물이 10분 이내에 완전히 부상 분리되는 것을 볼 수 있었고, 분리수는 검은색에서 누런색으로 변했다. 이때 분리수에 대한 BOD는 8,000 mg/ℓ (64%), CODcr는 15,000mg/ℓ (73%), SS는 1,200mg/ℓ, 총고형물 9,800mg/ℓ (66%)로 감소되었고, 총질소(T-N)는 80% 제거율을 보인 870mg/ℓ, 총인(T-P)은 70% 제거율을 보인 190mg/ℓ로 측정되었다.

<결과 2> : 실험실적 고액분리시스템의 운전결과 (II)

경기도 용인시 소재 양돈 2,700여 두를 사육하고 있는 스크래퍼 돈사에서 채취한 축산폐수를 고액분리 시스템에 의해 운전 및 실험한 결과는 Table 17. 과 같다.

Table 17. Coagulation condition of used coagulant

실험	응집제명	농도(%)	투입량(ml)	교반 rpm	응집시간 (min)	기포 부유제	부상시간 (sec)
A	염화제2철(III)	17	10	150	3~5	S-430	2~3
B	황산알루미늄	20	10	150	3~5	CT-29	2~3

- polymer는 0.1% AP-520C 사용, 실험 A,B 공히 10ml 투입
 - 미세기포 투입량은 원수 / 당 2~3 ml

부상은 실험 A, B 공히 순간적으로 부상되는 것을 볼 수 있었고, 사진 10. 과 11. 의 실험 A, B에 의하면 염화제2철(III)을 응집제로 사용했을 때 응집과 플럭 생성이 황산알루미늄보다 좋았다. 이때 기포 부유제로서 CT-29를 사용했을 때에는 부상이 되지 않았으나 S-430을 사용했을 때에는 대단히 양호했다. 그리고 분리액의 색깔도 엷은 노랑색을 띠었다. 황산알루미늄을 응집제로 사용했을 때는 CT-29와 반응은 좋았으나 분리액의 색깔은 황색을 나타내었다. 한편, 오염물 제거 결과는 Table 18. 과 같다.

Table 18. Analysis results of raw water and separate solution

항 목	원수의 농도(mg/ℓ)	분리액의 농도 (mg/ℓ)	
		실험 A	실험 B
pH	8.41	6.52	6.92
총고형물(TS)	7,540	30(as SS)(99.6)	87(as SS)(98.8)
암모니아(NH ₃ -N)	882	41(95.4)	82(90.7)
CODcr	5,462	1,220(77.7)	2,100(61.6)
BOD	2,400	952(60.3)	1,330(44.6)
T-N	910	-	-

- ()는 제거효율, %

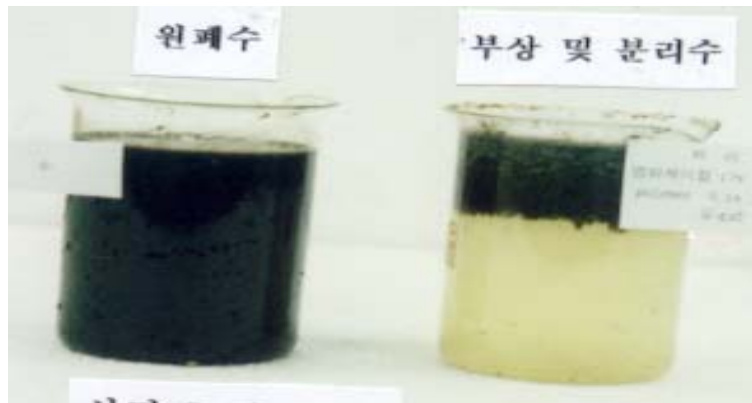


photo.10 Coagulant: Ferric chloride (exp.A)

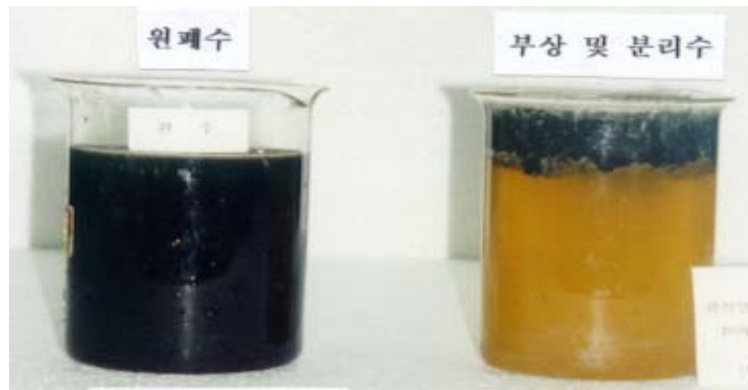


photo.11 coagulant: Aluminium sulfate (exp.B)



photo.12 Comparison of raw water and separated solution

분리액에 대한 분석결과를 볼 때 실험 A가 B보다 고액분리가 양호한 것으로 나타나어 축산폐수를 본 연구의 공법으로 전처리 할 경우에는 염화제2철(III)을 응집제로 사용하고 기포발생시에 부유제로서는 S-430을 이용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

<결과 3> : 실험실적 고액분리시스템의 운전결과 (III)

경기도 용인시 소재 양돈 15,000여 두를 사육하고 있는 제1 슬러리 돈사에서 발생하는 박석농장의 폐수처리장 집수조에서 채취한 축산폐수에 대해서 고액분리시스템에 의해 운전 및 분석한 결과는 Table 19.와 같다.

Table 19. Results of coagulation condition and solid/liquid separation by coagulant

실험	응집제명	농도 (%)	투입량 (mL)	교반 rpm	응집시간 (min)	기포 부유제	부상시간 (sec)	분리수 색깔	부상물 비 고
A	염화제2철(III)	17	10	150	3	S-430	3~4	엷은노랑	쉽게 흩어짐
B	황산알루미늄	20	10	150	4	S-430	4	짙은황	흩어지지 않음
C	황산알루미늄	20	10	150	4	OIMP-75	4	엷은황	흩어지지 않음
D	황산알루미늄	20	10	150	3	CT-29	4	짙은노랑	흩어지지 않음

- polymer : 0.1% AP-520C 사용, 실험 공비 10ml 주입
- 미세기포 투입량 : 원수 2당 2~3 ml 주입

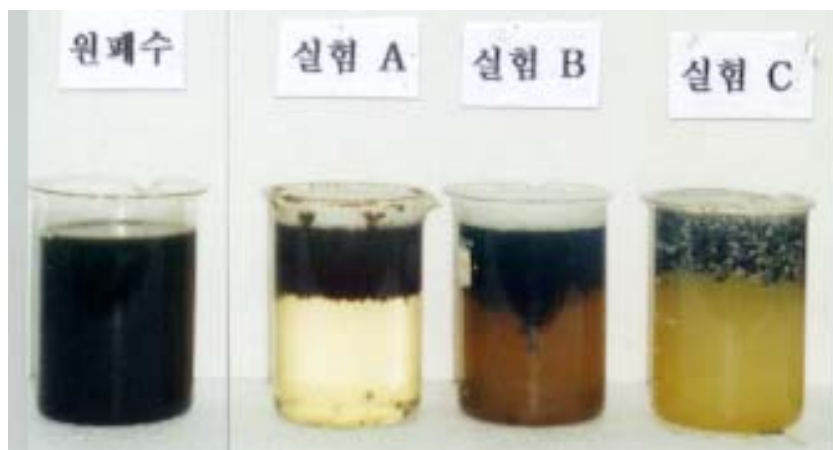


photo.13 Floated picture

Table 18. 과 사진 13. 에 의하면 염화제이철(III)이 황산알루미늄 응집제보다 분리액에 대한 청등도는 양호했다. 부상시간은 3~4초 이내에 부상이 완료되었으나, 부상된 부상고형물층을 유리병으로 건드렸을 때 황산알루미늄 응집제를 사용했을 때가 염화제2철보다 흩어지지 않는 것을 볼 수 있었다. Table 20. 은 원폐수와 실험 A~D에 대한 분리액의 분석치이다.

Table 20. Comparison of analysis results for raw water and separated solution

항 목	원폐수의 농도 (mg/ℓ)	분리액의 농도 (mg/ℓ)				비 고
		실험 A	실험 B	실험 C	실험 D	
pH	8.68	5.4	6.9	6.8	6.8	
총고형물	12,260	38,884	37,712	52,652	46,278	부상고형물
휘발성고형물	8,758	24,814	25,092	40,208	31,266	부상고형물
SS	-	111.5	274.5	123	206	
COD _{Cr}	10,819	1,843(83%)	3,920(64%)	4,860(55%)	2,900(73%)	
BOD	8,689	1,017(88.3%)	1,267(85.4%)	922(89.4%)	1,289(85.2%)	
T - N	1,260	568	899	749	834	

Table 20. 에 의하면 축산원폐수의 pH는 8.68이었는데 황산알루미늄(자체 pH 3.36)을 응집제로 사용했을 때는 중성으로 측정되었는데 염화제2철(자체 pH 1.0이하)을 사용했을 때는 pH 5.4로 측정되었다. 이는 염화제2철 자체 pH가 극산성이었기 때문이다. 부상된 부상고형물을 갖고 얼마만큼 농축되는가를 알기 위해 총고형물농도(TS)를 측정해 보았는데 황산알루미늄 응집제에 기포부유제를 OIMP-75를 사용했을 때가 52,652 mg/ℓ (실험C)로 가장 부상 농축이 잘 되었고, 그 다음이 CT-29 부유제를 사용했을 때였다. (실험D) 분리액에 대한 COD_{Cr} 제거는 염화제2철을 사용했을 때 1,843 mg/ℓ 였고, 황산알루미늄의 동일한 응집제 주입량에서(실험 B, C, D) COD_{Cr} 제거율은 55~73%로서 2,900~4,860 mg/ℓ 로 나타내었다. 이렇게 동일한 응집제 주입량에서 차이가 난 것은 기포부유제의 영향을 받았기 때문이다. 부유제 자체의 COD_{Cr}를 측정해 본 결과 COD를 유발시킴을 확인할 수 있었다. BOD제거에서는 유입수에 비해 모든 실험에서 80% 이상의 제거율을 보였는데 염화제2철을 응집제로 사용할 때가 88.3%로 제일 많이 제거 시켰고, 황산알루미늄을 사용했을 때는 85.2~89.4%의 제거율을 보였다.

문헌¹⁰⁾에 의하면 슬러리 고액분리 정화처리에는 한계가 있어 고액분리에 의한 BOD 제거율은 20% 이하라고 했는데 본 연구에서는 80% 이상의 제거율을 보였다. COD, BOD 제거율을 갖고 고찰하면 BOD 제거율은 보편적으로 높은 반면 COD 제거율은 낮았다. 특히, 미세기포 발생시 부유제를 DIMP-75를 사용했을 때 분리되는 미소현탁물질량은 가장 많았었고, BOD 제거율은 높았으나 COD 제거율은 낮았다. (실험C) 이 같은 결과로 볼 때 분리수 내에는 난분해성 물질로 부유제가 작용함을 시사하고 있다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 축산폐수를 대상으로 본 공법을 현장에 적용할 경우에는 최적응집제가 염화제2철(III)이었으며 이 때 polymer는 AP-520C가 적당했고, 미세기포 생성시 필요한 부유제는 S-430 인 것으로 나타났다.

제6절 결 론

1. 국내의 축산폐수를 대상으로 한 고액분리기를 설치한 10여 곳의 현장방문 및 문헌과 자료를 볼 때 돈모 및 협잡물 제거를 위한 스크린설비에 불과했다.

2. 일본의 예를 들면 스크린망의 입도가 1 μ m 이상에서 고형물 제거는 92.5% 이상 이므로 분리액을 정화처리 할 경우에는 고액분리가 반드시 필요하다. 일본의 축산분뇨처리는 돈사에서부터 분뇨의 분리가 엄격했고 분리액에 대해서는 약품으로 응집 처리 후 상등액을 정화처리하며, 그 상등액의 정화처리 공법은 활성슬러지법과 매질 및 담체를 이용한 생물막공법으로서 질소와 인 제거를 위해서 많은 노력을 하고 있었다.

3. 기존의 DAF공법에 의해 생성된 미세기포(평균 80 μ m) 보다 본 연구팀에 의해 개발된 미세기포(평균 35 μ m)가 더욱 미세한 기포임을 확인할 수 있었고 단위용적당 기포 수(160억개/ℓ), 기포표면적(617, 132cm²/ℓ), 기포체적당 공기함량(35~40%)도 매우 우수하였다. 그리고, 이중성의 기포 생성도 확인 할 수 있었다.

4. 실험실적 규모의 고액분리시스템 설비에 의해 슬러리돈사 및 스크레퍼돈사 폐수를 고액분리 시켜 본 결과

- 1) 적정 응집제 선정과 투입농도, 투입량, 그리고 이중성의 기포를 생성시킬 수 있는 기포부유제의 종류, 농도, 주입량을 도출시켰다. 아울러, 고액분리시스템의 운전조건도 현장성에 적용할 수 있게 도출시켰다.
- 2) 스크레퍼돈사 폐수에 적용해 본 결과 응집제로서는 염화제2철을 사용했을 때 고액분리효과가 우수했고, 총고형물 부상제거율은 99.6%, COD는 77.7%, BOD는 60.3%의 제거율을 보였다. 한편, 슬러리돈사 폐수에서의 제거율은 총고형물 66%, COD는 73%, BOD는 65%, T-N은 80%, T-P는 70%를 나타내었다. 그러나, 같은 형태의 슬러리돈사 폐수라도 제거율과 운영에는 크게 차이가 있으므로 현장 적용시에는 실험실에서 소규모 고액분리시스템 설비로 각종 실험을 통해 제반 요인을 분석한 후에 적절한 설계/ 제작 및 운영이 필요하다고 판단된다.

제4장 현장 설치용 고액분리시스템 개발

제1절 고액분리시스템 설계 및 제작

실험실적 규모의 고액분리시스템에서 얻은 지식과 경험을 바탕으로 실용성과 현장성을 위해 시간당 처리량 3m³, 운전시간 5시간을 기준해서 하루 15m³의 슬러리톤사 폐수를 처리할 수 있는 고액분리시스템을 설계하고 제작한 후 경기도 용인시 백운면 박석농장(양돈사육규모:15,000여두) 폐수처리장에 설치하여 운영함으로써 발생하는 문제점을 도출시키고 그에 따른 수정, 보완으로 실용적인 상용화를 위해 표준설계도를 작성하였다. 현장용 고액분리시스템의 설계 및 제작을 위한 각 unit별 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 미세기포 발생 Generator

미세기포 발생탱크는 원통형으로서 하부측은 호퍼형을 형성하고 있다. 기포발생 탱크에 물을 급수하고 저장된 물을 외부배관을 통해 펌핑하여 고압으로 순환시킬 때 배관에 설치된 M이젝터에 의해 부유제와 외부공기를 흡입시켜 순환수와 함께 혼합시키면서 기포발생탱크의 내부로 고압으로 분사시킴으로서 기포발생 탱크의 내부에 다량의 미세기포가 발생되도록 하였다. 여기에는 기포발생탱크 내에 항상 일정한 수위가 유지되도록 탱크본체 주변 중간부에는 급수구가 있고, 수위선 하부에 수위감지기 와 전자식 밸브에 의해 물이 항상 보충되도록 수위조절장치 셋트가 있고 일정한 수압 유지를 위한 압력계, 부유제 저장탱크 및 공급펌프, 순환펌프, 공기이젝터, 분사설비 등이 갖추어져 있다. (Fig. 19 및 사진 14. 참조)

2) 플럭과 미세기포 혼합기

혼합기에서는 응집반응조에서 응집약품에 의해 형성된 플럭이 함유된 폐수가 유입하게 되면 기포발생 Generator에 의해 발생된 미세기포들과 흡착이 최대의 효율로 일어날 수 있도록 하는 기계적인 설비이다. 여기에는 교반이송기와 결합되어 있어 균일화에 효과를 높일 수 있게 설계/ 제작되었다. 그리고, 여기에는 감속기와 연결된 교반축 및 날개가 적당히 배열 부착되어 있고 원만한 물흐름과 응집 및 플럭이 일어날 수

있도록 베플이 설치되어 있다. 또, 단회로 현상 및 사각현상이 발생되지 않도록 사프트측에 임펠러를 부착하였다. (Fig. 20 및 사진 15, 참조)

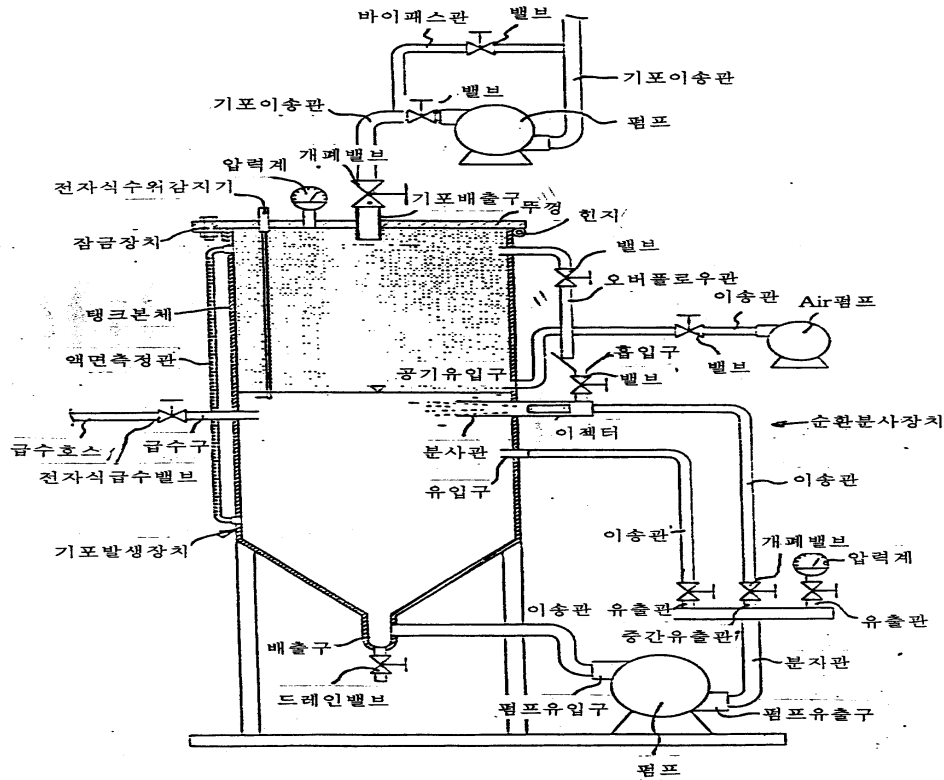


Fig.19 Section sketch of micro-bubbles generator

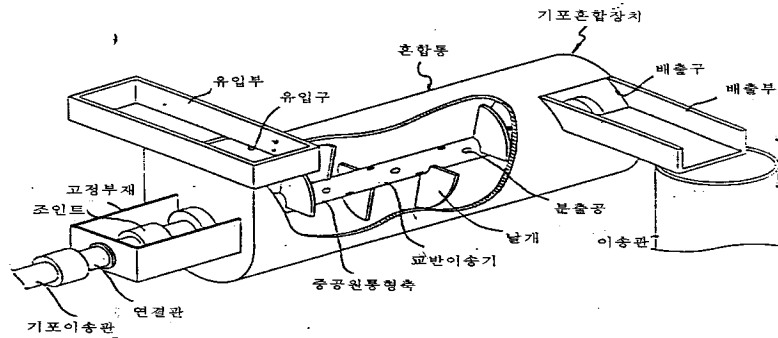
3) 응집 반응조

고액분리율을 높이기 위해 축산폐수내의 미소현탁물질과 응집제가 반응하여 응집 및 플러를 생성시키기 위한 반응조로서 제1반응조에서는 체류시간 10분 이내에 rpm 150으로 급속 혼합시키고 제2반응조에서는 체류시간이 5분 이내로 rpm 40~50으로 완속교반 시킬 수 있도록 제작설계 하였다. 제3반응조에서는 다음단계인 미세기포 혼합기에서 안정적이고 균일한 흡착반응이 유지될 수 있도록 설계되었다

5) 부상조

미세기포 혼합기에 의해 혼합된 축산폐수는 고형물 분리조인 부상조로 유입된다. 여기에는 수표면에 부상한 부상고형물을 긁어서 제거해야 하기 때문에 체인형 스키머가 장착되어 있다. 그리고 분리수가 유출하는 지점 앞에 부상물질이 방류되는 것을 막기 위해 정류판을 설치했고 조 내의 바닥면은 분리수가 유출되는 방향으로 경사지게 하였고 반대편에는 소량의 침전 슬러지가 생겼을 때 제거하기 위한 드레인벨트를 설치했다. (사진 16. 참조)

<기포혼합장치의 사시도>



<기포혼합장치의 단면도>

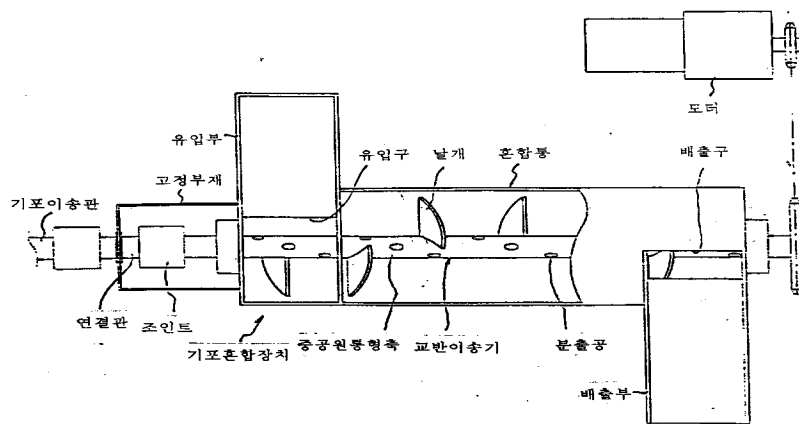


Fig. 20 Squint and section sketch of micro-bubbles mixing device



photo.14 micro-bubble generator



photo.15 Mixer device



photo.16 mechanical skimmer



photo.17 Pilot plant field establishment

제2절 고액분리시스템 현장 운영

2.1 고액분리시스템 현장 운영

현장의 슬러리토사 집수조의 폐수는 집수조 상부층에 두꺼운 스크럼층이 항상 형성되어 있고 스크럼층 하부에는 용액상태의 슬러리가 존재한다. 여기에 돈모와 미분해된 협잡물이 상당히 많이 함유되어 있기 때문에 본 연구의 고액분리설비를 바로 적용하기 곤란하여 협잡물을 제거하고 집수조의 슬러리를 균질화 할 필요성이 있어 시중에서 판매되는 기성품의 토사 전용 진동 Screen(20메쉬)를 구입 설치했고, 협잡물과 스크에 박힘이 없는 수중펌프(○○社, model)를 사용하여 Screen을 통과시켰다. 협잡물을 제거하고 균질화 시킨 슬러리를 급속교반기로 이송시켜 응집제 투입 후 150rpm에서 약 5분간 급속 교반후에 완속교반조로 월류시킨다. 완속교반조에서는 미량의 고분자응집제에 의해 약 50rpm에서 약 3분간의 교반으로 플럭을 성숙시켜 혼합기로 유입시켜 이중성의 미세기포와 접촉시키는 동시에 부상조의 하부로 유입시키므로 즉시, 부상조 표면으로 부상하게 되고, 부상된 플럭(이하, 고형물)들은 기계적인 스키머 장치에 의해 부상조 한쪽으로 몰려 조 외로 넘쳐흐르게 된다. 이때 분리액은 부상조의 반대쪽 출구로 월류하게 된다. 이 때, 미세기포 발생장치의 운전 압력은 1.5psi였다. 부상분리액의 2/3량을 다시 미세기포 발생장치로 되돌려 미세기포수를 만드는데 순환수로 사용하였다. 현장에 설치된 고액분리시스템 실험실규모의 반응조운전과는 달리 운전중에 약품주입량, 미세기포 발생장치의 문제점, 순환수 시스템, 압력조정, 혼합기 및 부상조의 문제점들이 많이 도출되어 그 때마다 시스템을 수정 보완하여 원활한 고액분리가 이루어지도록 하였다. Fig.21은 현장에서 운전된 고액분리시스템의 운영 흐름도이다.

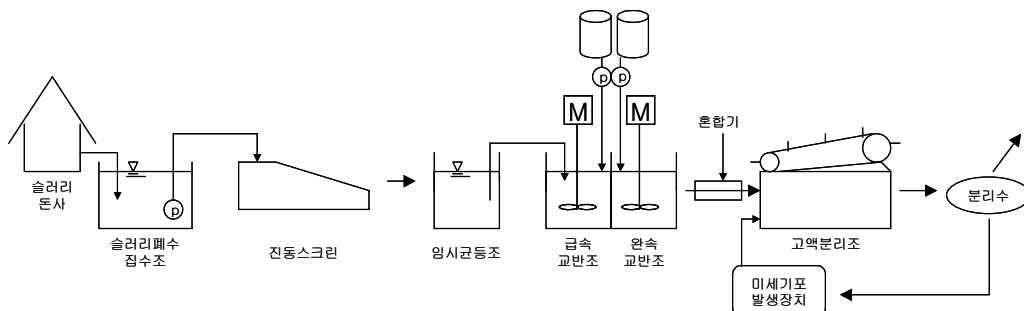


Fig. 21 Flow sheet of solid/liquid separation system

운영시의 약품주입량은 다음과 같다. 스크린 설비에 통과된 슬러리 폐수 1㎥당 18%용 염화제이철 13ℓ 주입하고, 유기응집제(AP-520C) 0.2%용 20ℓ 그리고, 이종기 포부유제 70g을 첨가했다. 사진 18. 은 본 연구를 위해 현장에 설치된 20 mesh 진동스크린<(주)세명엔지니어링 제작>을 나타낸 것이다.



photo.18 20 mesh vibration screen

20mesh 진동스크린의 사양은 다음과 같다.

- sus 304 재질로서 Laser로 가공된 0.5mm 타공판
- 타공판의 Dimension : W 0.5m × L 1.2m
- 처리용량 : 3~4㎥/hr
- 운전 : Header로 유입되면 월류되어 5°의 구배로 이루어진 진동스크린에 의해 이물질은 걸러진 후 분리되고 여액은 하부로 모아지게 된다.

Fig. 22는 부상효율의 제고를 알아보기 위해 부상조의 형태를 직사각형에서 원형으로 바꾸고 미세기포발생장치의 일부를 변경하여 새로 설계 제작한 고액분리 시스템의 흐름도이다. 사진 19.에 나타난 것은 Fig. 22와 같이 제작하여 현장에 설치한 전경이고, 사진 20.은 원형부상조 내에서 미세기포발생장치에 의해 생성된 미세기포들이 수표면에 부상된 전경이다. 현장 운전방법은 앞에서 설명한 바와 같이 동일하게 운전하였다.



photo.19 Solid/liquid separation system of round type



photo.20 Floated micro-bubbles picture

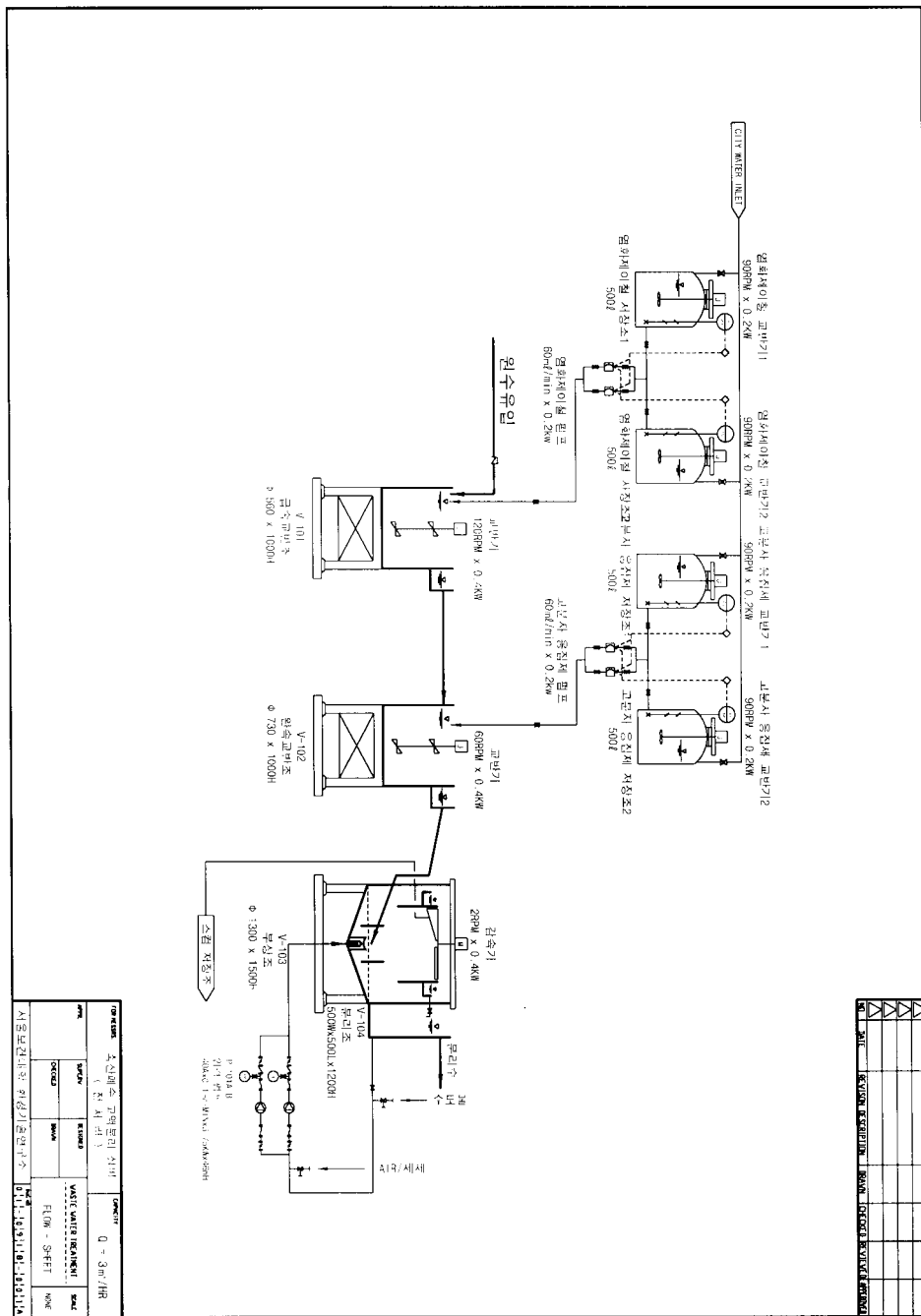


Fig. 22 Flow sheet of round type solid/liquid separation system

2.2 고액분리시스템의 현장 운영 결과

사진 21. 과 22. 는 집수조 원수를 스크린에 통과시켰을 때 스크린에 여과되어 하부 바닥으로 떨어진 혐잡물들이다.



photo.21 Screen & solids



photo.22 Dried solids

집수조 원폐수를 스크린에 통과시켰을 때 톤모와 혐잡물은 상당량 제거되는 것을 볼 수 있었고, 통과된 폐수의 색상을 육안으로 볼 때 큰 변화를 볼 수는 없었으나 외형은 고아 보였다.



photo.23 Solid/liquid separation before and after picture of slurry wastewater

사진 23.은 고액분리시스템 설비의 운전에 의해 고액분리 전과 후의 상태를 나타낸 것이다. 고액분리 후의 분리액은 검붉은 색상을 띄고 있었으며 대체로 맑은 편이었다. Table 20.과 21.은 고액분리 전과 후의 수질성상을 분석한 것이며, 상세한 data는 부록 1, 2에 나타내었다.

Table 20. Characteristic of after through screen

항 목	농도 범위	평균
pH	7.2~8.66	7.99
CODcr(mg/ℓ)	27,944~76,493	52,056
BODcr(mg/ℓ)	10,000~37,125	26,456
TKN(mg/ℓ)	2,466~5,019	3,330
T-P(mg/ℓ)	80~175	129
TS(mg/ℓ)	23,240~61,325	38,467
VSS(mg/ℓ)	13,360~43,891	26,326
Alk(mg/ℓ)	6,200~11,000	7,867
NH ₃ -N(mg/ℓ)	2,135~2,985	2,655
NO ₂ -N(mg/ℓ)	62.2~67.4	64.7

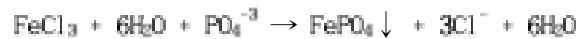
* 2001년 7월 2일부터 9월 10일까지 4회 측정 후의 평균 data임

Table 21. Characteristics of after solid/liquid separation

항 목	농도 범위	평균	제거율(%)
pH	6.08~7.63	6.85	-
CODcr(mg/ℓ)	6,870~19,200	13,564	73.9
BODcr(mg/ℓ)	3,174~12,737	7,787	70.6
TKN(mg/ℓ)	1,620~1,752	1,879	43.6
T-P(mg/ℓ)	0.86~2.20	1.46	98.9
NH ₃ -N(mg/ℓ)	1,199~7,554	2,823	제거안됨
NO ₂ -N(mg/ℓ)	27.9~67.0	49.9	22.9
TS(mg/ℓ)	136.7~313.4	221	99.4
VSS(mg/ℓ)	89~273	170	99.6

* 2001년 7월 2일부터 9월 16일까지 5회 측정 후의 평균 data임

Table 20, 과 21의 비교에서 고액분리 전에 pH는 평균 7.99에서 6.85로 저하되었는데 이는 응집제로 사용된 염화제2철의 영향인 것 같다. CODcr 제거율은 분리전의 농도가 52,056mg/ℓ에서 13,564mg/ℓ로 저하되어 73.9%가 제거되었고, BOD인 경우는 평균 26,456mg/ℓ에서 7,787mg/ℓ로 저하되어 70.6%가 고액분리 과정에서 제거되었다. TKN인 경우는 분리 전에 평균 3,330mg/ℓ에서 1,879mg/ℓ로 저하되어 43.6%가 제거되었고, T-P인 경우 분리 전에 129mg/ℓ였는데 분리 후에는 흔적 정도인 1.46mg/ℓ로 저하되어 무려 98.9% 제거된 것을 볼 수 있었는데 이는 응집제인 염화제2철에 의해 영향을 크게 받은 것 같다. 즉, 염화제2철에 의해 인의 제거는 아래와 같은 화학식으로 설명할 수 있다.¹⁹⁾ 폐수중의 PO_4^{3-} 는 염화제2철에 의해 $FePO_4$ 의 난용해성염으로 되어



분리됨으로서 처리수중의 ortho-P(PO_4^{3-} -P)의 잔유량이 보통 1mg/ℓ 이하로 유지된다. 한편, 암모니아는 고액분리 과정에서 전혀 변화 없이 오히려 약간 증가하였다. 이는 고액분리 과정에서도 슬러리든사 폐수중의 단백질 분해가 계속적으로 진행되었기 때문이라 사료된다. Fig. 23에는 Table 20, 과 21, 을 갖고 각 항목에 따른 고형물인 TS와 이에 따른 유기물 제거를 나타내는 BOD, COD 제거효율을 그래프화 한 것이다.

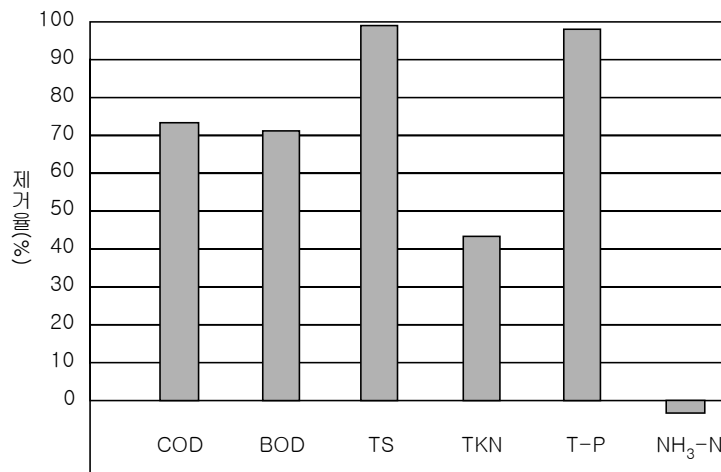


Fig. 23 Removal efficiency of TS, BOD, COD, TKN, T-P and NH₃-N by solid/liquid separation system

제3절 고액분리시스템 설비의 시공비 및 운영비 산출

앞에서 언급한 바와 같이 우리나라 돈사에서 발생하는 슬러리돈사 폐수는 대부분 퇴비 및 액비화의 자원화 공법을 채택하고 있고, 이에 대한 연구도 많았다.^{2), 20), 21), 22)} 그러나, 자원화 된 양돈분뇨들이 비점오염원으로 작용하여 심각한 환경오염을 초래하고 있다.⁶⁾ 그래서, 본 연구결과를 토대로 하여 슬러리돈사 폐수를 15m³(돼지사육두수: 1,000~1,500여두), 25m³(돼지사육두수 1,600~3,000여두), 40m³(3,000~4,000여두) 규모를 대상으로 미세기포에 의한 고액분리시스템의 설치 및 유지관리비를 산출하여 Table 22.에 나타내었고, 자세한 내용은 아래와 같다.

Table 22. Characteristics of separate solution after solid/liquid separation

구 분	15m ³ /day 처리시설 (돼지 1,000~1,500두 규모)	25m ³ /day 처리시설 (돼지 1,600~3,000두 규모)	40m ³ /day 처리시설 (돼지 3,000~4,000두 규모)
총 설치비(원)	29,867,000	34,977,000	43,756,000
약품비(원/m ³) (원/년)	1,779.5 9,742,762.5	1,779.5 16,237,937.5	1,779.5 25,980,700
전력비(원/m ³) (원/년)	48.9 535,698	35.7 652,558	30.8 900,307

(1) 하루 15m³ 처리규모의 슬러리돈사 시설

1) 미세기포에 의한 고액분리시스템 공사비

구 분	비 용 (원)	비 고	
기계공사	기계장비설치공사	7,282,000	
	배관공사	2,028,000	
	잡철물제작설치공사	10,395,000	
	소 계	19,705,000	
전기공사	Mcc Panel	365,000	
	Mcc Panel 제작설치공사	1,600,000	
	동력배관배선비		한국전력과 협의사항
	동력설치공사		한국전력과 협의사항
소 계	1,965,000		
시운전비	1,500,000		
공과제잡비	1,390,000		
이윤	2,592,000		
중 계	27,152,000		
부가가치세	2,715,000		
합 계	29,867,000		

2) 연간 운영비

구 분	비 용 (원/년)	산출근거
전 력 비	535,698	전기부하계산서
약 품 비	9,742,762.5	-
기 타		-
합 계	10,278,460.5	

- 전력비 산출

- 계약전력기본료 : 500kw미만은 1,100원/kw
- 사용전력기본료 : 500kw미만은 37.8원/kwh
- 전력료 : $(7kw \times 1,100\text{원}/kw \times 12\text{개월}) + (32.13kw/\text{일} \times 37.8\text{원}/kw \times 365\text{일}/\text{년})$
 $= 92,400(\text{기본료}) + 443,298(\text{사용전력}) = 535,698\text{원}/\text{년}$

- 약품비 산출

- 응집제 : (18* 염화제2철 20ℓ가 2,400원이므로)
 $0.013\ell/\ell(\text{폐수}) \times 15,000\ell(\text{폐수})/\text{d} \times 2,400\text{원}/20\ell = 23,400\text{원}/15\text{t}(\text{폐수})/\text{d}$
 → 연간 응집제 비용은 $23,400\text{원}/\text{d} \times 365\text{d}/\text{년} = 8,541,000\text{원}/\text{년}$
- 고분자응집제 : (AP-520C 15kg이 49,500원이므로)
 $0.020\ell(0.2\%)/\ell(\text{폐수}) \times 15,000\ell(\text{폐수})/\text{d} = 300\ell/\text{day}$
 0.2% 이므로 300ℓ에는 600g이 사용되므로
 $15,000\text{g} : 49,500\text{원} = 600\text{g} : x \quad \therefore x = 1,980\text{원}/15\text{t}(\text{폐수})/\text{d}$
 → 연간 고분자응집제 비용은 $1,980\text{원}/\text{d} \times 365\text{d}/\text{년} = 722,700\text{원}/\text{년}$
- 기포부유제 : (CT-29 20kg이 25,000원이므로)
 $0.070\text{g}/\ell(\text{폐수}) \times 15,000\ell(\text{폐수})/\text{d} = 1,050\text{g}/\text{day}$
 $20,000\text{g} : 25,000\text{원} = 1,050\text{g} : x \quad \therefore x = 1,312.5\text{원}/\text{d}$
 → 연간 기포부유제 비용은 $1,312.5\text{원}/\text{d} \times 365\text{d}/\text{년} = 479,062.5\text{원}/\text{년}$

(2) 하루 25m³ 처리규모의 슬러리돈사 시설

1) 미세기포에 의한 고액분리시스템 공사비

구 분		비 용 (원)	비 고
기계공사	기계장비설치공사	8,598,000	
	배관공사	2,333,000	
	잡철물제작설치공사	12,474,000	
	소 계	23,405,000	
전기공사	Mcc Panel	438,000	
	Mcc Panel 제작설치공사	1,800,000	
	동력배관배선비		한국전력과 협의사항
	동력설치공사		한국전력과 협의사항
	소 계	2,238,000	
시운전비		1,500,000	
공과제잡비		1,629,000	
이 운		3,026,000	
중 계		31,798,000	
부가가치세		3,180,000	
합 계		34,977,000	

2) 연간 운영비

구 분	비 용 (원/년)	산출근거
전 력 비	652,558	전기부하계산서
약 품 비	16,237,937.5	-
기 타		-
합 계	16,890,495.5	

- 전력비 산출

- 계약전력기본료 : 500kw미만은 1,100원/kw
- 사용전력기본료 : 500kw미만은 37.8원/kwh
- 전력료 : (7kw × 1,100원/kw × 12개월) + (40.6kw/일 × 37.8원/kw × 365일/년)
= 92,400(기본료) + 560,158(사용전력) = 652,558원/년

- 약품비 산출

- 응집제 : (18* 염화제2철 20ℓ가 2,400원이므로)
0.013ℓ/ℓ(폐수) × 25,000ℓ(폐수)/d × 2,400원/20ℓ = 39,000원/25t(폐수)/d
→ 연간 응집제 비용은 39,000원/d × 365d/년 = 14,235,000원/년

- 고분자응집제 : (AP-520C 15kg이 49,500원이므로)
 - $0.020 \ell (0.2\%) / \ell (\text{폐수}) \times 25,000 \ell (\text{폐수}) / \text{d} = 500 \ell / \text{day}$
 - 0.2%이므로 500 ℓ 에는 1,000g이 사용되므로
 - $15,000\text{g} : 49,500\text{원} = 1,000\text{g} : x \quad \therefore x = 3,300\text{원}/25\text{t}(\text{폐수})/\text{d}$
 - 연간 고분자응집제 비용은 $3,300\text{원}/\text{d} \times 365\text{d}/\text{년} = 1,204,500\text{원}/\text{년}$
- 기포부유제 : (CT-29 20kg이 25,000원이므로)
 - $0.070\text{g} / \ell (\text{폐수}) \times 25,000 \ell (\text{폐수}) / \text{d} = 1,750\text{g}/\text{day}$
 - $20,000\text{g} : 25,000\text{원} = 1,750\text{g} : x \quad \therefore x = 2,187.5\text{원}/\text{d}$
 - 연간 기포부유제 비용은 $2,187.5\text{원}/\text{d} \times 365\text{d}/\text{년} = 798,437.5\text{원}/\text{년}$

(3) 하루 40m³ 처리규모의 슬러리돈사 시설

1) 미세기포에 의한 고액분리시스템 공사비

	구 분	비 용 (원)	비 고
기계공사	기계장비설치공사	11,243,000	
	배관공사	2,702,000	
	잡철물제작설치공사	15,740,000	
	소 계	29,685,000	
전기공사	Mcc Panel	530,000	
	Mcc Panel 제작설치공사	2,000,000	
	동력배관배선비		한국전력과 협의사항
	동력설치공사		한국전력과 협의사항
	소 계	2,530,000	
	시운전비	1,800,000	
	공과제값비	2,041,000	
	이 운	3,722,000	
	중 계	39,778,000	
	부가가치세	3,978,000	
	합 계	43,756,000	

2) 연간 운영비

구 분	비 용 (원/년)	산출근거
전 력 비	900,307	전기부하계산서
약 품 비	25,980,700	-
기 타	-	-
합 계	26,881,007	

- 전력비 산출

- 계약전력기본료 : 500kw미만은 1,100원/kw
- 사용전력기본료 : 500kw미만은 37.8원/kwh
- 전력료 : $(8kw \times 1,100\text{원}/kw \times 12\text{개월}) + (57.6kw/\text{일} \times 37.8\text{원}/kw \times 365\text{일}/\text{년})$
 $= 105,600(\text{기본료}) + 794,707(\text{사용전력}) = 900,307\text{원}/\text{년}$

- 약품비 산출

- 응집제 : (18* 염화제2철 20ℓ가 2,400원이므로)
 $0.013\ell/\ell(\text{폐수}) \times 40,000\ell(\text{폐수})/\text{d} \times 2,400\text{원}/20\ell = 62,400\text{원}/40\text{t}(\text{폐수})/\text{d}$
 → 연간 응집제 비용은 $62,400\text{원}/\text{d} \times 365\text{d}/\text{년} = 22,776,000\text{원}/\text{년}$
- 고분자응집제 : (AP-520C 15kg이 49,500원이므로)
 $0.020\ell(0.2\%)/\ell(\text{폐수}) \times 40,000\ell(\text{폐수})/\text{d} = 800\ell/\text{day}$
 0.2% 이므로 800ℓ에는 1,600g이 사용되므로
 $15,000\text{g} : 49,500\text{원} = 1,600\text{g} : x \quad \therefore x = 5,280\text{원}/25\text{t}(\text{폐수})/\text{d}$
 → 연간 고분자응집제 비용은 $5,280\text{원}/\text{d} \times 365\text{d}/\text{년} = 1,927,200\text{원}/\text{년}$
- 기포부유제 : (CT-29 20kg이 25,000원이므로)
 $0.070\text{g}/\ell(\text{폐수}) \times 40,000\ell(\text{폐수})/\text{d} = 2,800\text{g}/\text{day}$
 $20,000\text{g} : 25,000\text{원} = 2,800\text{g} : x \quad \therefore x = 3,500\text{원}/\text{d}$
 → 연간 기포부유제 비용은 $3,500\text{원}/\text{d} \times 365\text{d}/\text{년} = 1,277,500\text{원}/\text{년}$

제4절 결 론

1. 실험실규모의 고액분리시스템의 설계를 근거로 하여 하루 15㎥ 규모(돼지 1,000~1,500두 사육)의 pilot plant를 설계/ 제작하여 폐수처리현장에 설치하였다.
2. 현장운전결과, 실험실규모 시스템의 운전과는 달리 많은 문제점이 도출되어 설계 변경이 이루어졌으며 이에 따른 설비의 구조 변경이 동시에 수행되었다.
3. Pilot plant 설비 앞단계에 20mesh 진동 스크린을 거치므로 많은 양의 협잡물이 제거되어 부상효율과 작업이 수월해졌고, 집수조의 슬러리 폐액의 조성변화가 경시적으로 심해 슬러리 펌프가 빈번히 잦은 고장이 많았다. 그리고, 고액분리설비의 효과를 제고하기 위해서 스크린 후단에 균등조 설비가 필요함을 느꼈다.
4. 약품주입량은 대략 1㎥당 18%용 염화제2철 13ℓ 주입이 최적이었으며, 이 경우 유기응집제는 AP-520C 0.2%용 20ℓ 가 주입되었다. 기포부유제는 CT-29로서 주입량이 70g 일 때 최적량이었다.
5. 부상조의 형태를 직사각형에서 원형으로 제작 교체 운영한 결과 부상성과 고형물 제거율 및 소요 압력이 직사각형 부상조 보다 효과적인 것 같았다.
6. 부상 전, 후의 외관(색도, 탁도)의 차이가 매우 컸으며, CODcr 제거율은 73.9%, BOD 71%, TKN 43%, T-P는 염화제2철 응집제에 의해 98.9%의 제거율을 보였다. TS는 부상전에 평균 38,467mg/ℓ 가 부상 후에는 221mg/ℓ 로 저하되어 99.4%의 고형물 제거율을 보였다.
7. 양돈 1,000~1,500여두 사육시설에 미세기포에 의한 부상시스템 설비를 설치할 경우에 약 3,000만원이 소요될 것으로 예상되며, 이 경우 년 간 운영비는 전력비가 535,698원(정격전력비용임), 약품비는 9,742,762.5원이 소요될 것으로 산출되었다.

제5장 분리액에 대한 정화처리공정개발

제1절 서론

본 연구에서는 앞장에서 소개된 고액분리시스템의 설비에 의해 생성된 분리액을 축산폐수의 법적기준치 이하로 방류시키기 위한 목적으로 정화처리공정을 개발하였다. 분리액에는 유기물과 암모니아의 농도가 매우 높아 생물학적공법으로 널리 알려진 활성슬러지 공법을 적용하기에는 많은 어려움이 있어 본 연구에서는 생물학적 처리에 독작용을 주는 암모니아 제거 설비를 전단에 설치하고, 그 후에 활성슬러지법을 변형한 생물막공정을 택해 연구개발 하였다. 국내에서 축산폐수를 대상으로 1991년에 HBC에 의한 접촉계 연구가 일찍부터 있었고,²³⁾ 1993년도에 생물막공정을 이용한 돈사 폐수처리에 관한 연구도 있었다.²⁴⁾

제2절 생물막공정의 이론적 배경

축산폐수내의 오염물질이 용해상태 혹은 콜로이드 상태로 존재하고 있을 때 이를 제거하기 위해서는 생물학적 처리방법이 가장 효과적인 방법으로 알려지고 있다. 생물학적 처리과정에 의해 오염물질은 미생물에 의해 무해한 물질로 분해되고 동시에 새로운 세포의 생성이 이루어진다. 일반적으로 생물학적처리의 주체는 미생물이고 이러한 미생물의 성장은 그 상태에 따라 부유성장과 부착성장으로 구분된다. 부유성장의 경우, 기질(substrate)의 분해와 세포의 합성이 부유상태에서 이루어지나 부착성장의 경우에는 매질(media)에 부착된 미생물에 의해 신진대사가 이루어진다. 매질과 용액이 접한 경우 용액중의 미생물이 매질표면에 부착되어 초기부착(initial attachment)이 이루어진다. 부착된 미생물은 기질 분해와 함께 증식되어 점액질의 많은 생물막(biological film, slime)을 형성한다. 이 생물막은 주로 세균의 집단으로 구성되어 세균막(bacterial film)이라고도하나 곰팡이(fungi), 조류(algae), 원생동물(protozoa) 등이 포함되기도 한다.²⁵⁾ 생물막이란 고체표면에 형성된 미생물의 점액질막과 그 함유물을 말하며 이의 형성은 물리, 화학, 생물학적인 현상들이 복합적으로 작용하여 이루어진다.

이러한 작용은 다음과 같은 순차적인 과정을 통해 진행된다. ^{26), 27)}

- 1) 기질이 액체로부터 고체표면에 전달되어 흡착되고
- 2) 미생물이 고체표면으로 이동되고
- 3) 미생물이 고체표면에 부착되고
- 4) 미생물이 기질을 섭취하고 성장하여 생물막이 형성된다.
- 5) 생물막으로부터 과잉증식된 미생물은 액체의 흐름에 씻겨 탈리된다.

생물막이 형성되면 생물막내의 생화학적 반응에 의해 생물막내의 기질농도가 용액의 농도보다 적어지게 되고 그 농도차이로 인해 기질이 용액으로부터 생물막내부로 전달되며 유체와 직접 접하는 생물막 표면에서는 끊임없이 성장과 탈리가 일어나며 정상상태(steady state)에 이르게 되면 부착과 탈리 사이에 균형을 이루게 된다. ²⁸⁾ 하지만, 정상상태에 도달한 생물막의 경우에도 간헐적으로 대량탈락(sloughing) 현상에 의한 많은 양의 생물량이 일시에 떨어져 나가는 변화가 일어난다.

국내 건설기술연구원²⁹⁾에서 폴리비닐리덴사르핀 생물설(Bio-Module)을 매질로서 실 내 실험과 파이롯트 플랜트 실험을 하수를 대상으로 연구한 바 있으며, 또한 FRP 정 화조에 폴리비닐 클로라이드를 원료로 한 생물설 형상의 매질을 이용하여 분뇨를 대상으로 연구한 적이 있었고, ³⁰⁾ 여러 개의 각주(squared column)형 매질을 이용하여 저농도의 폐수에 적용하는 실험도 하였다. ³¹⁾ 몇 년동안 국내에서도 침적형 생물막 공법에 미치는 영향을 폭넓게 규명하였다. ³²⁾

현재, 우리나라의 축산농가는 호기미생물에 의해 처리되는 활성슬러지법이 주가 된다. 그래서 본 연구는 활성슬러지법의 주 반응이 일어나는 포기조에서 미생물이 쉽게 부착할 수 있는 접촉 담체를 침적시키므로 미생물량을 많게 하고 동시에 미생물상을 다양하게 하여 유기물의 분해속도를 더욱 빠르게 하거나, 축산폐수처럼 생물분해 속도가 낮은 기질을 제거하거나 또는 높은 암모니아가 함유된 축산폐수를 대상으로 제거효율을 높이는 동시에 경제적인 측면을 고려하여 유지관리 하는데 용이한 공정을 개발하게 되었다. 또한, 생물막 공법은 유입되는 폐수량의 변화나 유기물 부하변동에 강하고 슬러지(미생물)를 포기조로 반송시킬 필요가 없으며 아울러 호기, 혐기성 분해작용이 동시에 일어나므로 유기물 제거효율이 높을 뿐만 아니라 포기조 내에서 고형물(미생물) 체류시간(solid retention time, SRT)이 길어져 슬러지 생산량이 적고 ³³⁾ 부영양화의 원인물질인 질소와 인을 제거시키는 처리에도 효과적인 장점을 지니고 있어 앞으로 우리나라 축산폐수현장에서 실용성이 클 것으로 기대되는데 문제는 유입폐

수의 농도가 높으면 담체가 쉽게 공간폐쇄가 되므로 처리수질의 악화가 뒤따르며 미생물량과 형성인자를 정상상태로 유지하기 위한 조작이 어렵고 포기용 동력소가 다소 높은 것으로 알려지고 있다.^{33), 34), 35)} 그러나, 이러한 문제점에도 불구하고 앞서 언급한 것보다 많은 장점 때문에 담체를 이용한 생물막 공법은 더욱 더 많은 주목을 받고 있다. 생물막법에 의한 축산폐수처리의 성공여부는 조내에 침적된 담체 및 매질의 종류 및 침적방법과 포기방법에 따라 구분되며,^{35), 36)} 매질과 담체의 형태에 의해 처리효율이 달라지는데 최근에는 비중이 1.0 이하이고 반영구적이며 비표면적이 매우 커서 미생물 부착성이 탁월하고 공극률이 우수한 폴리에틸렌 재질의 매질이 등장하게 되었다. 그래서 본 연구는 상기 매질을 이용해서 방류수 기준치 이하로 처리하는 정화시스템과 설계인자들을 도출하였다.

제3절 실험실규모 정화처리반응조 설계 및 제작

본 연구에서는 박석농장 현장의 pilot plant 운전에 의해 생성된 분리액을 대상으로 실험실규모의 반응조 운전을 통하여 생물막 공정의 적용 가능성 여부를 검토하여 현장성 규모의 플랜트를 설계하는데 필요 인자 및 운전조건을 도출하는데 목적이 있다.

3.1 실험실규모 반응장치의 구성과 제작

실험에 사용된 반응장치의 구성은 Fig. 24에 나타낸 바와 같이 크게 A/B라인으로 배열 구성하였다. 각 반응조의 규격과 제원은 다음과 같다.

1) 집수조

A/B라인에 공급되는 분리액(이하, 유입원수라고 함)을 A/B라인에 공급시키기 위한 저장조이다. 용량은 24시간 체류할 수 있게 20ℓ로 하였고, 내부의 수위를 외부에서 알 수 있도록 5mm두께의 원형아크릴로 만들었다. 유입원수를 A/B라인에 항상 일정한 농도로 유입시키기 위해서 집수조에 80rpm의 교반기를 장착시켜 교반시켰다. 그리고, 집수조의 유입원수 농도가 변질되지 않게 5℃로 유지되는 대형 냉장고에 보관시키면서 펌프에 의해 반응조로 유입시켰다.

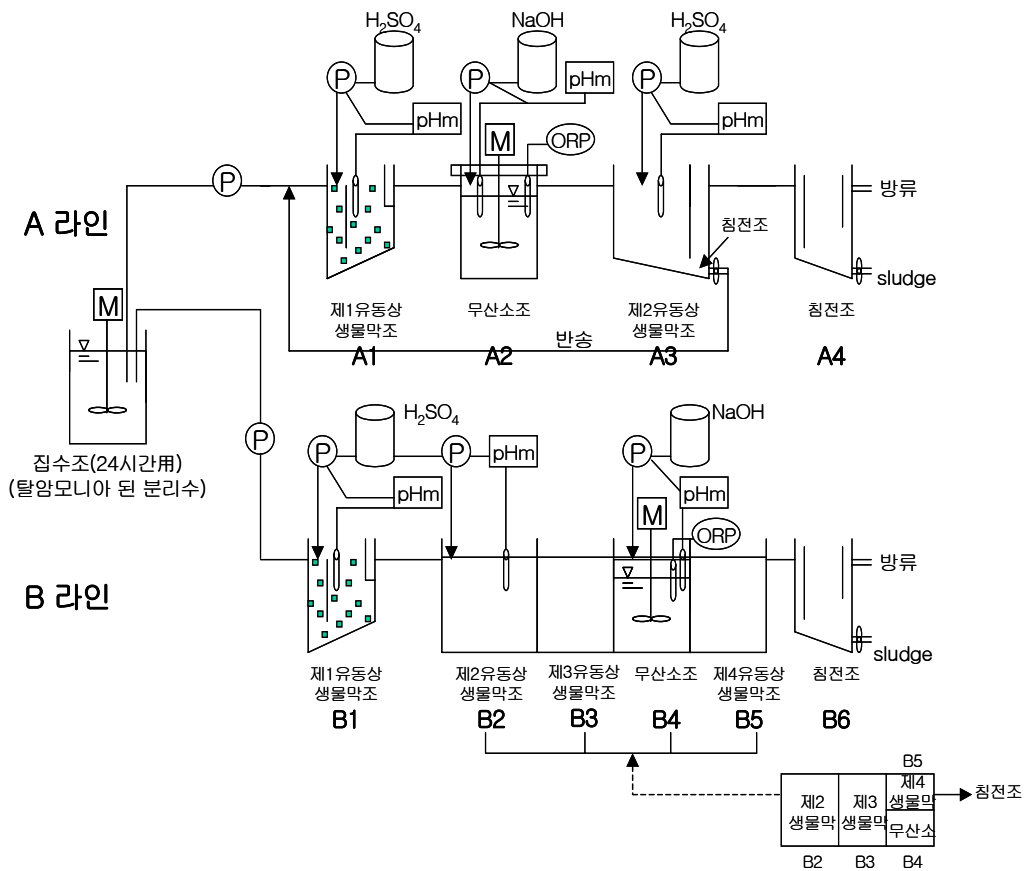


Fig. 24 Reactors arrangement

2) 제1유동상 생물막반응조(일명 MBBR, Moving Bed Biofilm Reactor)

두께 3mm 원통형의 아크릴로서 내경이 11.5cm, 높이 49cm, 원통하부는 매질이 조 내 한쪽으로 물리거나 쌓이지 않게 45°의 경사각을 주었고, 유효용량을 3.5ℓ 되게 하였다. 반응조 내에 담체 충전율은 용량대비 15%로 하였다. 충전담체는 ○○판 제품으로 비중은 0.92~0.96이며, 규격은 지름이 10mm, 높이 7mm, 표면적이 500m²/m³, 밀도는 0.92~0.96g/cm³의 polyethylene 재질이다. (사진 24.) 공기공급은 조 한쪽에 격막을 설치하여 Air pump로 주입하였고, 확산석은 어항용을 사용하였다. 공기공급으로 담체는 조 내부에서 항상 유통이 되도록 만들었으며 유입원수는 공기유입부에 위치하였고, 반대편에 유출구를 만들었다. (Fig. 25 참조)



before attachment



after attachment

photo, 24 MBBR media,

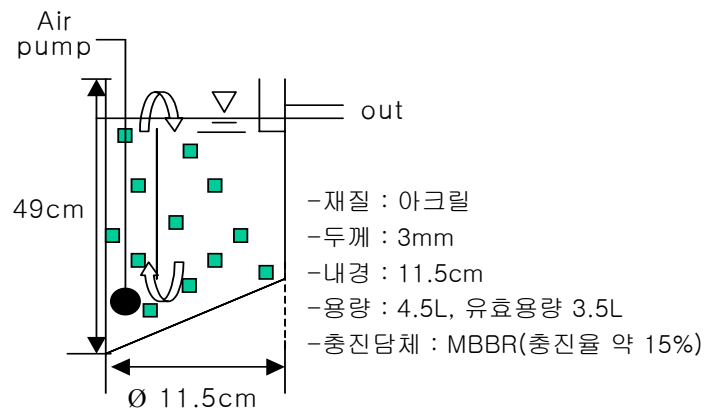


Fig. 25 1st moving biofilm reactor(reactor A1)

한편, 반응조 내로 유입되는 유입원수의 공급으로 반응조 내의 pH가 상승되어 중성이 유지되도록 pH센서를 조 내에 고정시키고, H₂SO₄ 용액이 자동으로 공급되도록 미량정량펌프와 연결시켰다.

3) 무산소조¹⁾

앞 공정에서 질산화를 거치면서 생성된 질소산화물이 전자수용체(Electron acceptor)로 사용되고 질소가스로 전환되는 과정으로 가스상 질소 물질은 질소가스뿐만

아니라 Nitrous Oxide나 이산화질소까지 포함한다. 탈질소화에 작용하는 미생물은 무산소 상태에서 필요한 산소를 질산염이나 아질산염으로부터 공급받게 된다. 탈질소화 세균은 질산염이나 산소를 전자수용체로 사용하므로 질소를 제거하기 위해서는 무산소 상태를 유지하여 질산염을 전자수용체로 사용하도록 하기 위해 무산소 반응조가 필요하다. 두께가 3mm, 내부직경이 12cm의 투명아크릴 원통으로서 탈질소화 미생물을 반응조 내에 많이 보유하기 위해 담체를 조 용적 30%를 충전시켰다. 담체의 충진율을 고려해서 HRT가 4시간이 산출되는 11.5cm의 높이에서 내부액이 유출되도록 하였고 가능한 무산소 상태가 유지되도록 반응조의 윗부분을 덮었다. 그리고, 미생물과 내용물의 접촉효과를 높이기 위해 반응조 상부 덮개에 25rpm이 되도록 교반기를 설치하였다. 유입원수는 앞 공정에서 무산소조 하부로 유입되도록 하고 출구는 반대편의 상부로 하였다. (Fig. 26 참조)

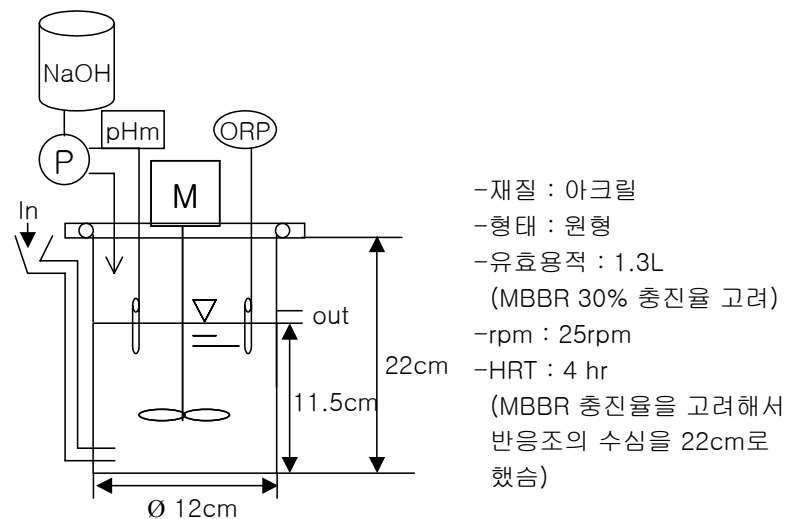


Fig. 26 Anoxic reactor(A2, B4 reactor)

한편, 탈질소화는 pH 8.2~8.5에서 반응이 최적이므로 반응조 내의 pH센서를 침적시키고 일정한 pH가 자동적으로 유지되도록 NaOH 주입펌프 미량정량펌프와 연결하여 조정하였다. 그리고, 탈질소화 반응의 여부를 알기위해 ORP meter를 장착하여 항상 감시하였다.

4) A라인의 제2유동상생물막 반응조

재질은 두께가 5mm 투명아크릴판으로 제작되었는데 포기조의 유효용적은 8ℓ로 하였고 상등수만 다음 공정으로 유출시키기 위해 포기조 옆에 2.8ℓ 용량의 침전지를 부착시켰다. 포기조의 바닥은 매질로부터 탈리되는 슬러지를 한쪽으로 모으기 위해 경사지게 하였고 dead zone을 없애기 위해 바닥 사각 모서리에 헌치를 대었다. 담체의 충전율은 포기조 용량대비 15%가 되게 하였고, 포기장치는 상향류가 이루어지게 어항용 산기석을 적당한 위치에 설치하였다. 유입원수가 유입 즉시 혼합되게 조내의 적당한 위치에 격막을 설치했고, 생물막조의 유출수는 조 하부를 거쳐 침전지 상부로 유출되게 하였다. 그리고, 침전지에 슬러지를 인출하기 위해 침전조 바닥에 슬러지 유출구를 설치하였다. (Fig. 27 참조)

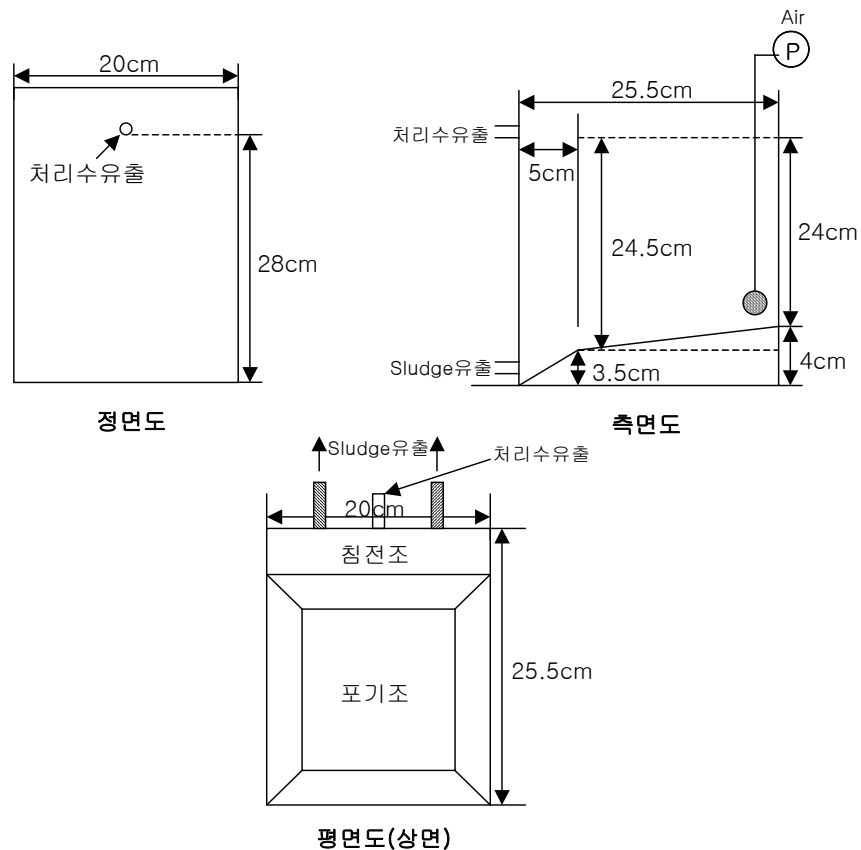


Fig. 27 2nd moving biofilm reactor of A line

그리고, 앞 공정인 무산소 반응조에서 원류되는 유출수의 pH가 8.5이상이므로 제2 유동상 생물막조의 원활한 운전을 위해 pH전극을 조 내에 고정시키고 pH가 자동으로 7.0~7.5로 운영되도록 황산 주입 미량정량펌프를 설치하였다.

5) B라인의 제2, 제3유동상생물막 반응조 및 무산소조와 제4유동상생물막 반응조 B라인의 제1생물막 반응조(원형)의 유출수를 대상으로 유기물 제거와 질산화율을 높이기 위해 제2, 제3생물막 반응조를 거친 후 탈질소화 목적으로 무산소 반응조로 유입시킨다. 그 후, 탈질소화 후 잔유 유기물과 탈질소화 물질을 휘산 제거 목적으로 제4생물막조로 유입시켰다. 이와 같은 공정도를 Fig. 28에 도해하였다. 한편, 무산소 반응조의 원활한 반응을 위해서 A라인의 무산소 반응조와 동일한 부대설비를 갖추었다.

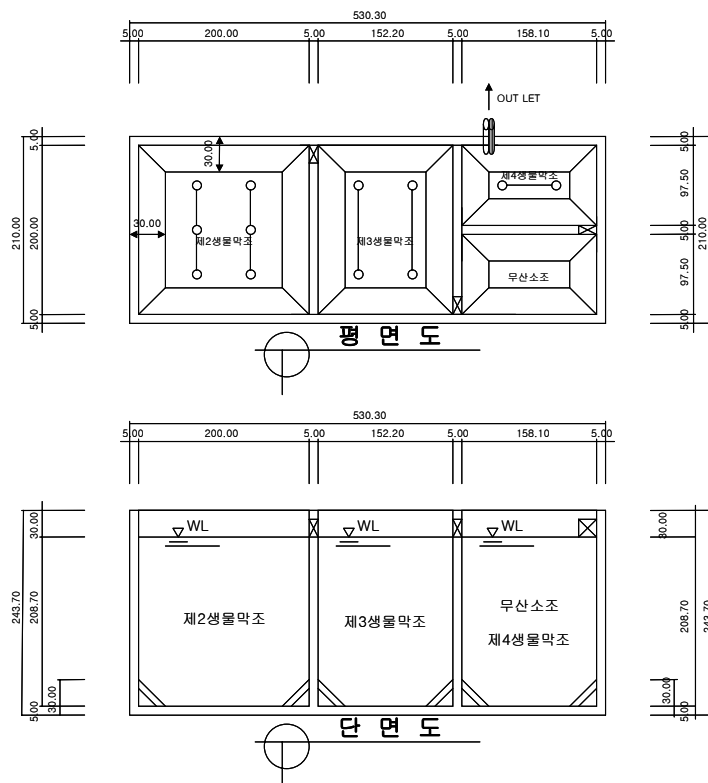


Fig. 28 2nd and third moving biofilm reactor of B line, anoxic and forth moving biofilm reactor

6) A/ B라인의 최종침전조

제4유동상생물막조의 유출수 내의 부유미생물을 제거하기 위해 필요한 최종침전조의 구조는 Fig. 29와 같다. 3mm 두께 아크릴원통으로 제작되었으며 내부 직경은 9cm, 유효용적은 1.14ℓ, 유입수는 침전조 하부로 유입되어 침전조 반대쪽 상부로 유출되게 하였다. 그리고, 침전물이 조의 한 쪽으로 모아지게 경사지게 하였고, 침전물이 유출되는 것을 막기 위해 침전조 유출구쪽에 격막을 설치하였다. 또한, 침전슬러지만을 인출할 수 있게 경사면 하부에 배출구를 설치하였다.

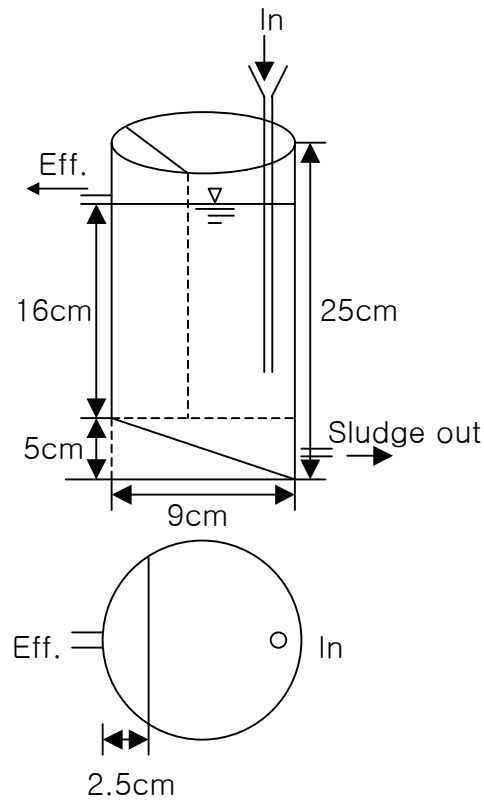


Fig. 29 Structure of final sedimentation reactor

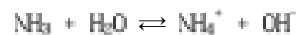
제4절 실험실규모 정화처리반응조 운전

1) 실험에 사용된 슬러리톤사 폐수

경기도 용인시 박석농장에 설치된 pilot plant인 미세기포에 의한 부상설비시스템의 운전에 의해 생성된 분리액을 20ℓ 들이 PVC용기 다량에 취해 본 대학 개발실로 운반하여 대형냉장고에 보관하면서 필요시마다 꺼내어 유입 원폐수로 사용하였다.

2) 탈암모니아 작업과 유입수 조제

부상설비에 의한 분리액에는 암모니아 농도가 매우 높아 생물학적처리 공정으로 유입하기 전에 암모니아 제거가 필수적이다. 분리액 내의 암모니아 제거는 Air Stripping법을 수작업을 통해 행하였다. 즉, 암모니아 함유 폐수에 가성소다 주입으로 pH를 11.5로 조정한 후, 공기를 주입시켜 암모니아를 탈기 제거하는 방법으로 그 반응식은 다음과 같다.



폐수내의 NH_4^+ 이온은 NH_3 와 평형상태로 존재한다. pH가 7 이상으로 증가함에 따라 평형을 왼쪽으로 이동해서 NH_4^+ 이온은 NH_3 로 변하며 이 때, 폐수를 휘저어주면 NH_3 는 공기중으로 휘산된다. 그러므로, 원폐수 중의 암모니아를 제거시켜 주기 위해서는 가성소다를 사용하여 pH를 11.5로 조정 후 포기시켜 주므로 해결된다. 본 실험에서도 Air Stripping 원리를 이용하여 암모니아를 제거시켰는데 제거 작업중 너무 많은 거품 생성으로 인해 내용물이 모두 거품과 함께 조 외로 넘쳐흘러 분리액과 지하수를 1:1로 혼합 후 Air stripping 작업으로 분리액 내의 암모니아를 제거시킬 수 있었다. 탈암모니아 시킨 용액을 황산을 이용하여 pH를 7로 중화시켜 실험실규모 정화처리 반응조의 유입폐수로 하였다. 유입폐수의 평균 pH는 7.38, CODcr은 7,067mg/ℓ, BOD는 4,562mg/ℓ, TKN은 767.3mg/ℓ, T-P는 0.97mg/ℓ, TS는 114.4mg/ℓ, VSS는 98mg/ℓ, $\text{NH}_4\text{-N}$ 는 587.8mg/ℓ, $\text{NO}_2\text{-N}$ 는 5.18mg/ℓ 였다.



photo.25 Ammonia stripping picture



photo.26 Reactors Operation picture

3) 반응조 운전

앞장에서 설명한 실험실 반응조를 A 및 B라인으로 구성배열시켜 종오니를 각 반응조에 일정량씩 주입하였다. 종오니는 경기도 성남시 하수처리장의 반응슬러지를 이용했다. 운전 첫날은 각 반응조에 종오니만 주입하여 포기만 시켰고, 그 다음날부터 A 및 B라인의 유입수량 및 각 라인별 반응조에 대한 수리학적체류시간(HRT)은 Table 22. 에 나타내었다.

Table 22. Operation condition by reactor for different line

구분	A line	반응조용적(ℓ)	B line	반응조용적(ℓ)	비고	
유량(ℓ/day)	5.88		5.83			
H	제1생물막조	14.3(A1)	3.5	14.4(B1)	3.5	
	제2생물막조	32.7(A3)	8.0	32.9(B2)	8.0	
R	제3생물막조	-		24.7(B3)	6.0	
T	제4생물막조	-		12.3(B5)	3.0	
(hrs)	무산소조	4(A2)	1.3	10.5(B4)	3.0	
	침전조	4.65(A4)	1.14	4.69(B6)	1.14	매질용적제외

※ A1~A4, B1~B6은 그림 24.의 반응조 고유 번호

한편, 유입폐수 주입은 미량정량펌프(Master Flux Feed pump, cole parmer Co, USA)를 사용하였고, 공기주입은 에어컴프레샤(Model AC 0602-A1003-Medo, Co, Japan)를 사용하였는데, 장기 가동시 열풍공급을 예방하기 위해 컴프레샤는 매일 교체하여 공기를 공급하였다. 그리고, pH조정용 산/알칼리 주입펌프(ADVANTEC Toyo Kaisha, Ltd. AP-2203 PERISTALTIC PUMP)를 장치하였고, pH 및 ORP 메터는 무산소반응조의 산화·환원 상태를 관찰하기 위해 장착하였고, 평균적으로 -270~-400mV로 유지되었다.

4) 수질분석방법

총고형물(Total Solid)과 휘발성고형물(Volatile Solid) 그리고, CODcr 및 BOD는 환경부의 수질환경공정시험법³⁷⁾을 따랐고, TKN과 T-P 및 암모니아성질소와 아질산성질소는 일본 하수도시험법³⁸⁾에 준해 분석하였다. 그리고, 유입폐수는 현장에서 채수 할 때마다 분석하였고, 각 라인별 공정에 따른 유출수 및 최종처리수는 반응조의 운전이 정상상태(steady state)에 도달하였을 때 분석하였다.

제5절 결과 및 고찰

5. 1 반응조의 미생물상 관찰³⁹⁾

1) A라인 반응조 내 미생물상

정상상태(steady state)로 반응조가 운전될 때 A라인 배열의 제1유동상생물막조 부유액은 회색을 띄고 있었고, 여기에서 관찰된 미생물상은 운동성이 활발한 Free swimming이 주종을 이루었다. (사진 27.) 그리고, 섬모충류이면서 하구류에 속하는 *chilodonella* sp(사진 28.)등이 관찰되었다. 이들은 BOD부하가 높은 경우에 잘 나타난다. 무산소조를 거친 제2유동상생물막조(A3)의 부유액은 옅은 갈색을 띄었고, 관찰된 미생물상은 Free swimming과 섬모충류로서 pH가 높고 $\text{NH}_4\text{-N}$ 가 높을 때 출현하는 *colpoda*(사진 29.)가 보였고, 이외에 *Amoeba* sp(사진 30.) 그리고, 도감에도 없는 섬모충류(사진 31.)가 보였다. 이 외에 후생동물로 분류되는 *colurella*(사진 32.)와 *Leptadella* sp 등이 보이는데 이들은 처리수가 비교적 양호하며 질산화가 일어나고 용존산소 효율이 양호할 때 출현한다.



OP200/A1/2001. 8. 20

photo.27 Free swimming



OP400/A1/2001. 9. 28

photo.28 *chilodonella* sp



OP400/A2/2001. 9. 28

photo. 29 Colpoda



OP200/A3/2001. 8. 20

photo. 30 Amoeba sp



OP200/A3/2001. 8. 20

photo. 31 ?



OP400/A4/2001. 9. 28

photo. 32 Colurella & Leptadella sp

2) B라인 반응조 내 미생물상

제1유동상생물막 반응조(B1)에서도 A라인 제1유동상생물막 반응조(A1)와 마찬가지로 부유액은 회색을 띄었고, 호기성 조건의 지표생물인 Free swimming(사진 33.)이 많이 관찰되었다. 그리고, BOD부하가 높고 처리가 불충분하여 분해되지 않는 유기물이 남아있을 때 나타나는 Oikomonas(사진 34.)가 나타났고 이 경우, 용존산소는 거의 없으며 이 때에는 분산상 세균류도 많이 존재한다. 제2유동상생물막조(B2) 부유액은 진한갈색을 띄었고 질화가 진행중일 때 흔히 출현하는 calyptotricha(사

진 35.)등이 관찰됨과 동시에 처리상태가 양호할 때 출현하는 paramecium(사진 36.)과 podophrya(사진 37.)등이 출현하였다. 한편, 제3생물막조 및 제4유동상생물막조에서도 제2생물막조에 준하는 생물상들이 출현하였다.



photo. 33 Free swimming



photo. 34 Dikomomas



photo. 35 calyptotricha



photo. 36 paramecium



photo. 37 podophrya

5. 2 처리수의 수질농도

고액분리액에 대한 실험실규모의 반응조를 steady state로 운전했을 때 처리수의 농도를 Table 23. 에 요약해서 나타내었고, 부록(4, 5)에 A, B라인 반응조를 2001년 9월 11일부터 10월 6일까지 운전했을 때의 종합적인 실험결과를 첨부하였다.

Table 23. Effluent concentration

(단위: mg/ℓ)

항목 구분	pH	Temp.	CODcr	BOD	TKN	NH ₄ ⁺ -N	T-P	SS
유입수	7.38	-	7,067	4,562	767.3	587.8	0.97	114.4*
A라인	7.63	22.2	950.9 (86.5)	107.5 (97.6)	567 (26.1)	436.8 (25.7)	ND	95.3 (16.7)
B라인	6.75	22.7	805.5 (88.6)	78.5 (98.3)	400.1 (47.9)	343.5 (41.6)	ND	27.5 (76.0)

* TS값임

A라인 배열에서는 유입수의 CODcr가 7,067mg/ℓ였는데, 최종처리수의 농도는 950.9mg/ℓ로 저하되어 86.5%의 제거율을 나타내었는데, B라인에서는 805.5mg/ℓ로 저하되어 88.6%의 제거율을 보였다. 한편, BOD제거는 유입수가 4,562mg/ℓ로 유입되어 A라인 배열에서는 107.5mg/ℓ로 97.6%의 제거율을 보였고, B라인 배열에서는 78.5mg/ℓ로 저하되어 98.3%의 제거율을 보였다. 한편, Hao와 Li⁽⁴⁰⁾에 의하면 생물학적으로 분해가 용이한 폐수의 COD/BOD의 비가 일반적으로 2.0이상이면 생물학적으로 처리가 부적당한 기질 즉, 생물학적으로 산화되지 않는 유기물, 고분자화합물을 많이 포함하고 있다는 것을 의미하고 있으므로 COD/BOD비가 2.0이하가 되어야 한다고 보고하고 있다. 따라서 일반적으로 COD/BOD비가 낮으면 낮을수록 제거율이 우수하다는 것을 의미하므로 본 축산폐수에서는 COD/BOD비가 1.55로서 생물학적 처리가 가능함을 알 수 있었다. TKN 제거에서는 유입수에서 767.3mg/ℓ였는데 A라인 배열에서는 26.1% 제거수준인 567mg/ℓ였는데 비해 B라인 배열에서는 47.9% 제거된 400.1mg/ℓ로 나타났고, 아울러 암모니아성 질소의 농도도 B라인 배열에서 343.5mg/ℓ로 적게 측정되었다. T-P농도 비교는 유입원수 자체가 흔적 정도이므로 비교가 어려웠다. 유입원수에 COD, BOD 및 TKN, NH₄⁺-N 농도가 높은 것에 비해 유입원수 자체에 T-P농도가 흔적 정도이므로 효과적인 생물학적 처리를 기대하기 위해서는

BOD:N:P의 비율이 100:5:1로 유지해 주어야 세포합성이 원활해지므로 현장에서 열화제2철을 응집제로 사용해서 고액분리 시킬 경우 분리액에 무기인산염의 주입이 필수적이라 사료된다. Fig. 30은 Table 23. 을 갖고 제거율을 나타낸 것이다.

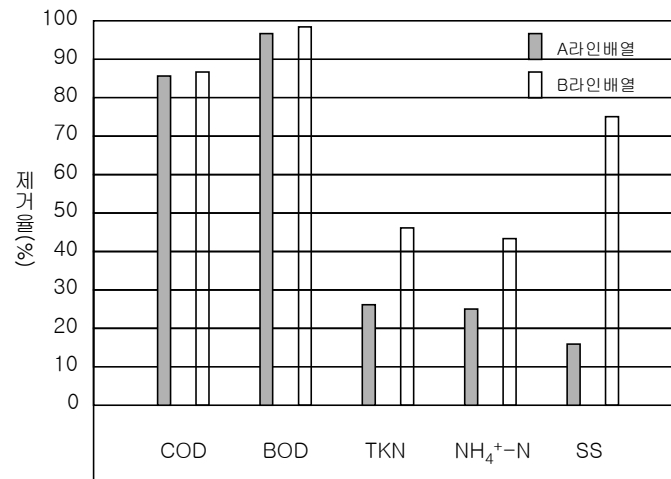


Fig. 30 Removal efficiency of COD, BOD, TKN, and NH₄⁺-N, SS in A/B line

Table 23. 과 Fig. 30의 비교에서 생물막공법으로 축산폐수를 처리할 경우 같은 유기물 및 수량 부하에서는 B라인 배열로서 공정을 구성하고 설계하는 것이 바람직하다고 사료된다. 한편, 환경부의 “오수, 분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률”¹⁾에 의한 규제치와 비교해 볼 때 축산폐수 개별처리장인 경우 허가대상 축산시설의 특정지역 BOD, SS기준치인 150mg/ℓ 미만으로 규제되어 있는바 A, B라인 배열 공정 모두에서 기준치 이내로 처리되었으나, T-N기준인 260mg/ℓ 를 초과했다. 그리고, T-P의 기준치인 50mg/ℓ 는 기준치 미만으로 처리되었다. 또한, 신고대상 일반지역 및 특정지역 축산시설 개별처리장의 BOD, SS 기준치는 350mg/ℓ 인 것에 비해 A, B라인 배열 공정 모두 기준치 이내로 처리되었다. 한편, 사진 38. 은 본 실험에서 정화처리 전, 후의 외관 색상을 비교해서 나타내었고, 사진 39. 는 참고로 슬러리톤사 원폐수와 A 및 B라인 정화 처리 후 그 처리수를 오존처리와 A/C처리를 했을 때의 외관색상을 비교해서 나타내었다.



photo.38 Color comparison of purification treatment before/after



photo.39 Color comparison of Ozone and activated carbon at effluent

5. 3 매질에 부착한 미생물량 조사

사진 40. 은 본 실험이 종료될 때 유동상생물막 반응조에서 핀셋으로 담체 일정량을 꺼내어 cover glass 위에서 담체에 부착된 미생물을 떨어져 현미경으로 관찰한 것이다.

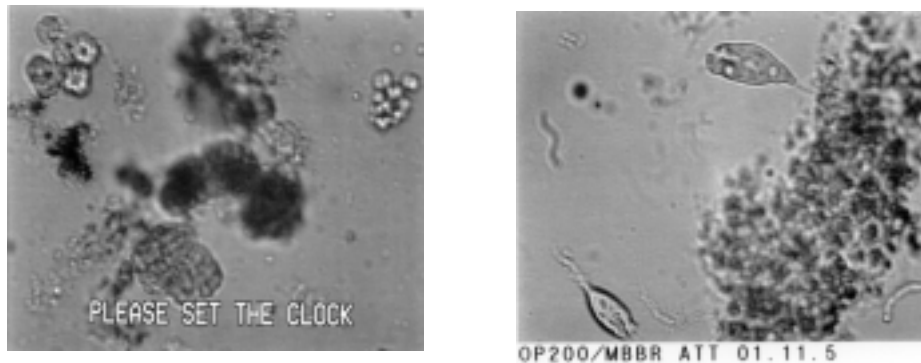


photo.40 Microorganisms found of in MBBR media

사진에서 보는 바와 같이 담체에도 상당량의 미생물이 부착되어 있음을 확인 할 수 있었다. 한편, 실험에 사용된 담체 개당 미생물의 부착량을 알아보기 위해 다음과 같이 조사 분석하였다.

- 담체 자체 개당 무게 : 150.3mg
- 담체 자체 개당 물흡수량 : 40.5mg
- 담체 자체 개당 물흡수량의 무게 : 190.8mg
- 담체 개당 순미생물 부착량(습중량) : 105.7(최소)~258.7mg(최대)
- 담체 개당 순미생물 부착량(건중량) : 5.3(최소)~9.5mg(최대)

담체 자체의 미생물 부착량의 조사 의의는 현장 플랜트 설계시에 매질 충전량 산출요인으로 작용하기 때문에 조사하였다.

5. 4 각 공정별 유출수 비교

축산농가에 폐수처리장을 설계 시공할 경우 필요한 자료를 얻기 위해 생물막 정화 처리 실험이 종료 후 각 공정별 유출수를 2001년 10월 8일부터 12일까지 5회 분석하여 그 평균치를 Table 24, 와 25에 나타내었고, 세부적인 데이터는 부록(6, 7, 8, 9)에 제시하였다. Table 24.에는 A, B라인 제1 유동상생물막 반응조(1st moving biofilm reactor) 유출수의 농도를 나타내었고, Table 25.에는 A, B라인 제2, 3, 4 유동상생물막조 유출수의 농도를 정리하여 나타내었다. (부록 6, 7, 8, 9 참조)

Table 24. Concentration of effluent at 1st moving biofilm reactor

(단위 : mg/ℓ)

항목 라인	pH	COD _{Cr}	COD _{Mn}	BOD	TKN	NH ₄ -N	T-P	SS	비 고
A라인	7.04	1,099.8	507.2	472	606.2	533.3	ND	94	A1 반응조
B라인	7.08	838.2	374.4	169	590.2	527.6	ND	22	B1 반응조
평균	7.06	969	440.9	320	598.2	530.5	ND	58	

Table 25. Concentration of effluent at biofilm reactor

(단위 : mg/ℓ)

항목 라인배열	pH	COD _{Cr}	COD _{Mn}	BOD	TKN	NH ₄ -N	T-P	SS	비 고
A라인 제2생물막조	6.68	983.2	461.4	281	555.6	472.5	ND	93.2	A3반응조
B라인 제2, 3, 4 생물막조	6.86	675.6	279.2	89	439.2	400.9	0.57	44.8	B2, B3, B5 반응조

제6절 생물막 정화시스템 설비의 시공비/ 운영비 산출

미세기포에 의한 고액분리액을 대상으로 하여 슬러리돈사 폐수를 사육규모별로 정화처리장을 시공하고 운영관리 할 때 소요되는 비용을 산출하면 Table 26.과 같다. Table 26.의 자세한 내용은 그 아래와 같다.

Table 26. Executing and operating cost by swine raising scale

구 분	15m ³ /day 처리시설 (돼지 1,000~1,500두 규모)	25m ³ /day 처리시설 (돼지 1,600~3,000두 규모)	40m ³ /day 처리시설 (돼지 3,000~4,000두 규모)
총 설치비(원)	77,828,010	107,632,510	146,851,690
약품비(원/m ³)	5,776	5,776	5,776
전력비(원/m ³)	451	372	263
(원/년)	4,942,333	6,806,203	7,682,812

(1) 하루 15m³ 처리규모의 슬러리돈사 폐수 시설

가. 설비 공사내역에 따른 비용

공사 내역	세 부 내 용	금 액 (원)
기계 설비 공사	기계장비 설치공사	12,544,520
	배관 공사	6,757,040
	잡철물 제작설치 공사	6,992,370
	접촉 미디어 공사	33,750,000
	소 계	60,043,930
전기 설비 공사	MCC PANEL	3,135,070
	MCC PANEL 제작 및 설치공사	1,728,660
	동력 배관 배선비	999,720
	동력 설치 공사	1,134,680
	소 계	6,998,130
시운전비		247,500
공과제잡비		8,310,950
합 계		77,828,010

* 집수조는 돈사시설에 기본적으로 갖추고 있으므로 제외시켰음

나. 소모전력 비용

No.	항 목	동 력(kw)	운전수량(SET)	운전시간(HR)	사용동력(kw)
1	유량조정펌프	0.75	1	5	3.75
2	압력펌프	3.75	1	5	18.75
3	염화제이철펌프	0.2	1	5	1
4	고분자용집계펌프	0.2	1	5	1
5	교반기(균등조, 교반조)	0.4	4	5	8
6	감속기(부상조)	0.4	1	5	2
7	교반기(중화조)	1.5	1	24	36
8	이송펌프	0.75	1	24	18
9	반송펌프	0.75	1	24	18
10	NaOH펌프	0.2	2	24	9.6
11	H ₂ SO ₄ 펌프	0.2	2	24	9.6
12	교반기(달질조)	1.5	1	24	36
13	침전조 감속기	0.4	1	24	9.6
14	브로워	7.5	1	24	180
15	약품탱크 교반기	0.2	3	1	0.6
16	약품탱크 교반기	0.75	2	1	1.5
	합 계				353.4

◎ 전력료

- 계약전력 기본료 : 3,690원/kw
- 사용전력 기본료 : 44.5원/kw
- 전력료 : 19.45kw × 3,960원/kw × 12개월 +
 $353.4\text{kw/일} \times 44.5\text{원/kw} \times 365\text{일} \times 0.7 = 4,942,333\text{원/년}$

다. 소모약품비

- 황산 및 NaOH 외 : $5,776\text{원/m}^3 \times 15\text{m}^3/\text{일} = 86,640\text{원/일}$

(2) 하루 25㎥ 처리규모의 슬러리돈사 폐수 시설

가. 설비 공사내역에 따른 비용

공사 내역	세부내용	금액(원)
기계 설비 공사	기계장비 설치공사	18,741,960
	배관공사	11,078,640
	잡철물 제작설치공사	10,577,700
	접속 매디아공사	43,200,000
	소계	83,598,300
전기 설비 공사	MCC PANEL	3,765,070
	MCC PANEL 제작 및 설치공사	2,194,020
	동력 배관 배선비	2,658,310
	동력 설치공사	1,854,680
	소계	10,472,080
시운전비		2,475,000
공과제값비		11,087,130
합계		107,632,510

나. 소모전력 비용

No.	항목	동력(kw)	운전수량(SET)	운전시간(HR)	사용동력(kw)
1	유량조정펌프	0.75	1	5	3.75
2	압력펌프	3.75	1	5	18.75
3	염화제이철펌프	0.2	1	5	1
4	고분자응집제펌프	0.2	1	5	1
5	교반기(균등조, 교반조)	0.75	3	5	11.25
6	감속기(부상조)	0.75	1	5	3.75
7	교반기(중화조)	2.2	1	24	52.8
8	이송펌프	0.75	1	24	18
9	반송펌프	0.75	1	24	18
10	NaOH펌프	0.2	2	24	9.6
11	H ₂ SO ₄ 펌프	0.2	2	24	9.6
12	교반기(탈질조)	2.2	1	24	52.8
13	침전조 감속기	0.4	1	24	9.6
14	브로워	11	1	24	264
15	약품탱크 교반기	0.4	4	1	1.6
16	약품탱크 교반기	0.75	2	1	1.5
	합계				477

◎ 전력료

- 계약전력 기본료 : 3,690원/kw
- 사용전력 기본료 : 44.5원/kw
- 전력료 : 29.1kw × 3,960원/kw × 12개월 +
477kw/일 × 44.5원/kw × 365일 × 0.7 = 6,806,203원/년

다. 소모약품비

- 황산 및 NaOH 외 : 5,776원/㎡ × 25㎡/일 = 144,400원/일

(3) 하루 40㎡ 처리규모의 슬러리톤사 폐수 시설

가. 설비 공사내역에 따른 비용

공사내역	세부내용	금액(원)
기계 설비 공사	기계장비 설치공사	28,358,100
	배관공사	13,385,760
	잡철물 제작설치공사	14,940,450
	접촉 미디어공사	61,650,000
	소계	118,334,310
전기 설비 공사	MCC PANEL	4,680,000
	MCC PANEL 제작 및 설치공사	2,734,020
	동력 배관 배선비	2,885,710
	동력 설치공사	2,664,680
	소계	12,964,410
시운전비		2,475,000
공과제값비		13,077,970
합계		146,851,690

나. 소모전력 비용

No.	항 목	동 력(kw)	운전수량(SET)	운전시간(HR)	사용동력(kw)
1	유량조정펌프	0.75	1	5	3.75
2	압력펌프	5.5	1	5	27.5
3	염화케이철펌프	0.2	1	5	1
4	고분자응집제펌프	0.2	1	5	1
5	교반기(균등조, 교반조)	1.5	3	5	22.5
6	감속기(부상조)	0.75	1	5	3.75
7	교반기(중화조)	1.5	1	24	36
8	이송펌프	1.5	1	24	36
9	반송펌프	1.5	1	24	36
10	NaOH펌프	0.4	2	24	19.2
11	H ₂ SO ₄ 펌프	0.4	2	24	19.2
12	교반기(달질조)	1.5	1	24	36
13	침전조 감속기	0.4	1	24	9.6
14	브로워	11	1	24	264
15	약품탱크 교반기	0.75	4	1	3
16	약품탱크 교반기	1.5	2	1	3
	합 계				521.5

◎ 전력료

- 계약전력 기본료 : 3,690원/kw
- 사용전력 기본료 : 44.5원/kw
- 전력료 : 36.9kw × 3,960원/kw × 12개월 +
521.5kw/일 × 44.5원/kw × 365일 × 0.7 = 7,682,812원/년

다. 소모약품비

- 황산 및 NaOH 외 : 5,776원/m³ × 40m³/일 = 231,040원/일

제7절 결 론

미세기포 고액분리시스템에 의한 pilot plant설치 현장에서 슬러리톤사 폐수를 1차적으로 고액분리시켜 그 분리액을 탈암모니아 시킨 후 후속공정인 유동상생물막 공법에 의해 정화처리 하였을 때 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 톤사폐수를 생물막 공정으로 정화처리 할 경우 환경부의 “오수, 분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률”에서 제시하는 방류수의 법적 기준치 미만으로 처리가 가능하였다.

2. 정화처리 반응조의 배열은 ¹탈암모니아설비조 → ²제1유동상생물막조 → ³제2유동상생물막조 → ⁴제3유동상생물막조 → ⁵무산소조 → ⁶제4유동상생물막조 → 침전조 → 방류로서 1)~4)까지는 유기물제거와 질산화를 유도시키며 5)의 반응조는 탈질화를 위한 무산소조로 이용되었고 6)의 제4유동상생물막조는 잔유유기물 제거용으로 추가하였다. 이 배열에서 슬러지 반송 라인은 설치하지 않았다.

3. 사용된 담체의 미생물 부착량(mg)은 담체당 습중량으로는 105.7mg(최소)~258.7mg(최대)이 부착되었고 건중량으로는 5.3~9.5mg의 미생물이 부착하였다.

4. 유동상생물막 공법으로 슬러리톤사 폐수를 처리하고자 하는 경우 회석수와 부상분리액의 혼합은 1:1 비율에서 탈암모니아 작업이 가능했다.

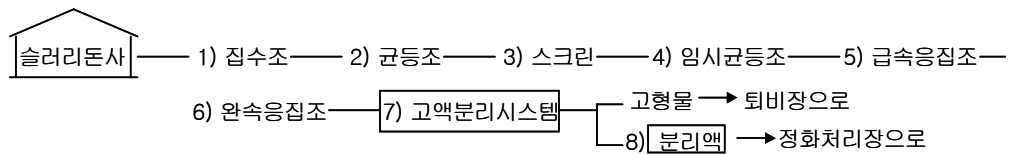
5. 유동상생물막 공법으로 정화처리 할 경우 반응조의 부유액중에 처리지표 생물들이 처리상태가 양호할 때 출현하는 미생물상을 관찰 할 수 있었다.

6. 유동상생물막 공법으로 슬러리톤사 폐수를 정화처리 할 경우 그 가능성은 충분했으나 총질소를 제거하기 위해서는 별도의 공정이 필요하다고 사료되며, 염화제2철로 전처리 할 경우 세포합성에 필요한 무기인의 주입이 필요하다고 판단된다.

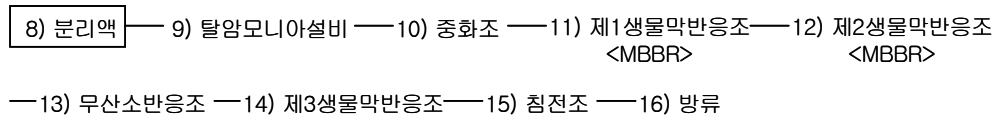
제6장 상용화를 위한 슬러리돈사 폐수처리장 표준화설계도

앞에서 실험 연구한 각종 결과를 근거로 하여 미세기포에 의한 고액분리시스템과 유통상생물막 공법인 정화처리 시스템의 공정흐름도는 다음과 같다.

<전처리공정>



<후처리공정>



상기 공정도에 준해서 설계할 경우 기본적인 내용과 설계에 필요한 자료를 제시하면 다음과 같다.

- 1) 집수조 : 콘크리트 구조로서 규모가 클수록 좋음
- 2) 균등조 : 고액분리시스템의 효과를 높이기 위해 집수조의 수표면의 스크럼층을 파괴시키고 균질화 시키기 위해서 필요함. 집수조의 슬러리 농도는 다음과 같으며 고액분리 부상시스템으로 유입시켜야 할 농도이다.
 - pH : 평균 7.99 (8.66~7.2)
 - CODcr : 평균 52,056mg/l (76,492~27,944mg/l)
 - BOD : 평균 26,456mg/l (37,125~10,000mg/l)
 - TKN : 평균 3,330mg/l (5,019~2,466mg/l)
 - T-P : 평균 129mg/l (175~80mg/l)
 - TS : 평균 38,467mg/l (61,325~23,240mg/l)
 - VS : 평균 26,326mg/l (43,891~13,360mg/l)

- 3)스크린 : 20 mesh 이상의 스크린으로서 기성품 사용
- 4)입시균등조 : 미세기포에 의한 고액분리시스템 설비의 효과를 높이기 위해 반드시 필요하고, 교반장치를 장착해야 함
- 5,6)급속/ 환속교반조 : 급속교반기의 반응시간은 150rpm에서 5분, 환속교반기의 반응시간은 50rpm에서 3분 정도
- 7)고액분리설비시스템 : 미세기포 발생장치에 의해 폐수 내의 고형물을 순식간에 부상시키는 고형물 제거 설비이다. 다음은 분리액에 대한 농도이면서, 탈암모니아 설비로의 유입수 농도가 된다.
- pH : 평균 6.85 (7.63~6.08)
 - COD_{Cr} : 평균 13,564mg/ℓ (18,800~8,870mg/ℓ)
 - BOD : 평균 7,787mg/ℓ (12,737~3,174mg/ℓ)
 - TKN : 평균 1,879mg/ℓ (2,336~1,570mg/ℓ)
 - T-P : 평균 1.46mg/ℓ (2.20~0.86mg/ℓ)
 - NH₄-N : 평균 2,823mg/ℓ (7,554~1,296mg/ℓ)
 - TS : 평균 221mg/ℓ (313.4~136.7mg/ℓ)
- 9)탈암모니아설비 : 고농도의 암모니아 농도는 정화처리에 미생물 생존과 증식에 독성을 끼치므로 반드시 제거시켜야 성공적으로 정화처리를 유도할 수 있다. 탈암모니아 후의 수질농도는 다음과 같으며 제1유동상생물막 정화설비로 유입되는 유입원수농도가 된다.
- pH : 평균 10.2 (9.0~11.4)
 - COD_{Cr} : 평균 7,067mg/ℓ (9,280~6,320mg/ℓ)
 - BOD : 평균 4,562mg/ℓ (5,800~4,080mg/ℓ)
 - TKN : 평균 767.3mg/ℓ (974~724.2mg/ℓ)
 - NH₄-N : 평균 587.8mg/ℓ (645.7~480.3mg/ℓ)
 - TS : 평균 114.4mg/ℓ (160~77mg/ℓ)

10) 중화조 : 탈암모니아 시킨 후에 pH를 7.0으로 중화시키는 설비임.

11) 제1생물막조(일명 MBBR조) : MBBR조를 통과한 유출수는 다음과 같이 예상되며,
무산소조를 거쳐 제2생물막조로 유입되는 유입수가 된다.

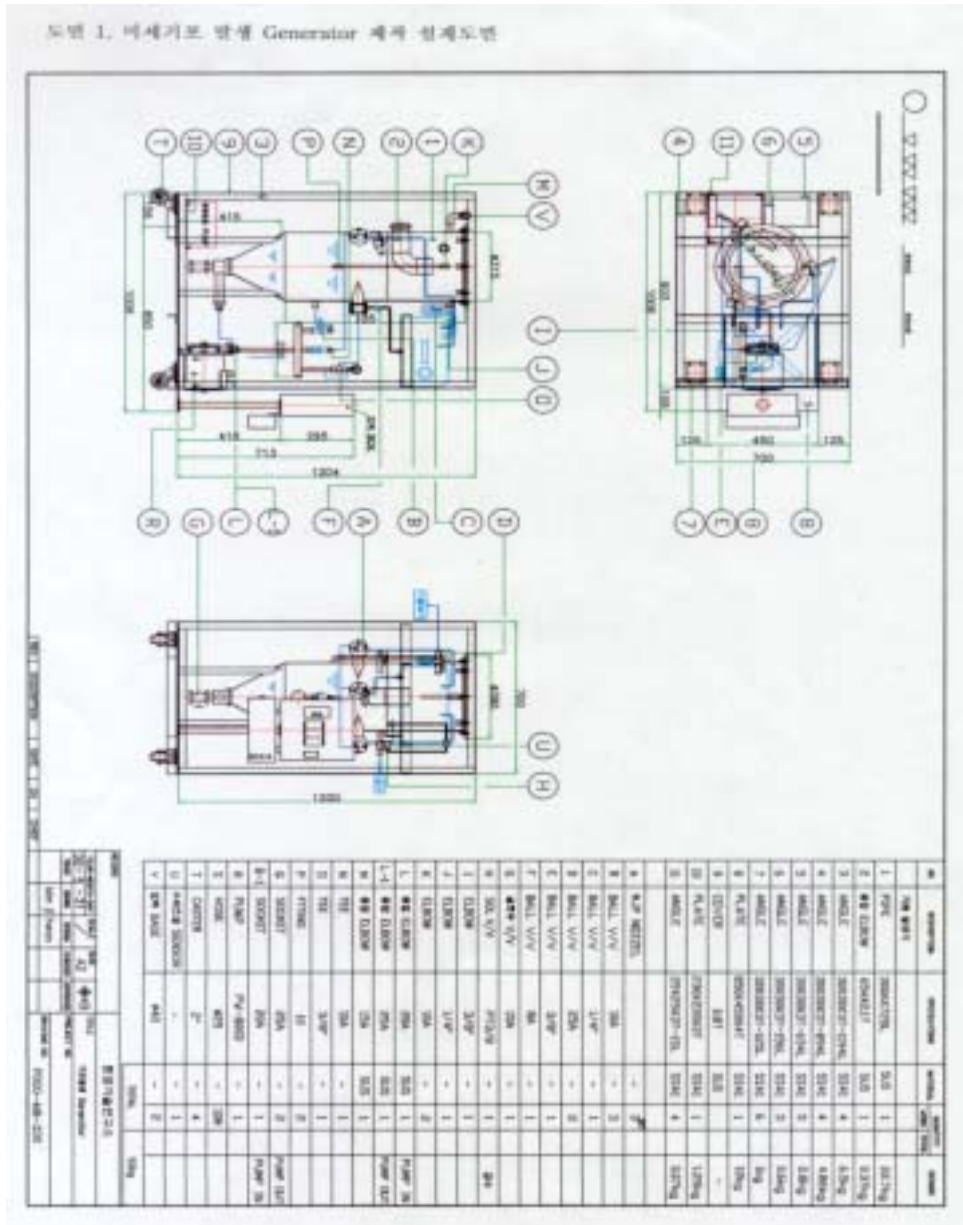
- pH : 평균 7.06 (7.04~7.08)
- COD_{Cr} : 평균 969mg/ℓ (838.2~1,099.8mg/ℓ)
- COD_{Mn} : 평균 440.9mg/ℓ (374.4~507.2mg/ℓ)
- BOD : 평균 320mg/ℓ (169~472mg/ℓ)
- TKN : 평균 598mg/ℓ (590~606mg/ℓ)
- NH₄-N : 평균 530.5mg/ℓ (527.6~534mg/ℓ)
- T-P : ND
- SS : 평균 58mg/ℓ (22~94mg/ℓ)

12) 제2생물막조 : 제2생물막조의 예상 처리수가 되며, 제3생물막조의 유입수 농도
이다.

- COD_{Cr} : 평균 805mg/ℓ
- COD_{Mn} : 평균 379mg/ℓ
- BOD : 평균 150mg/ℓ
- TKN : 평균 446mg/ℓ
- NH₄-N : 평균 369mg/ℓ
- SS : 평균 48mg/ℓ

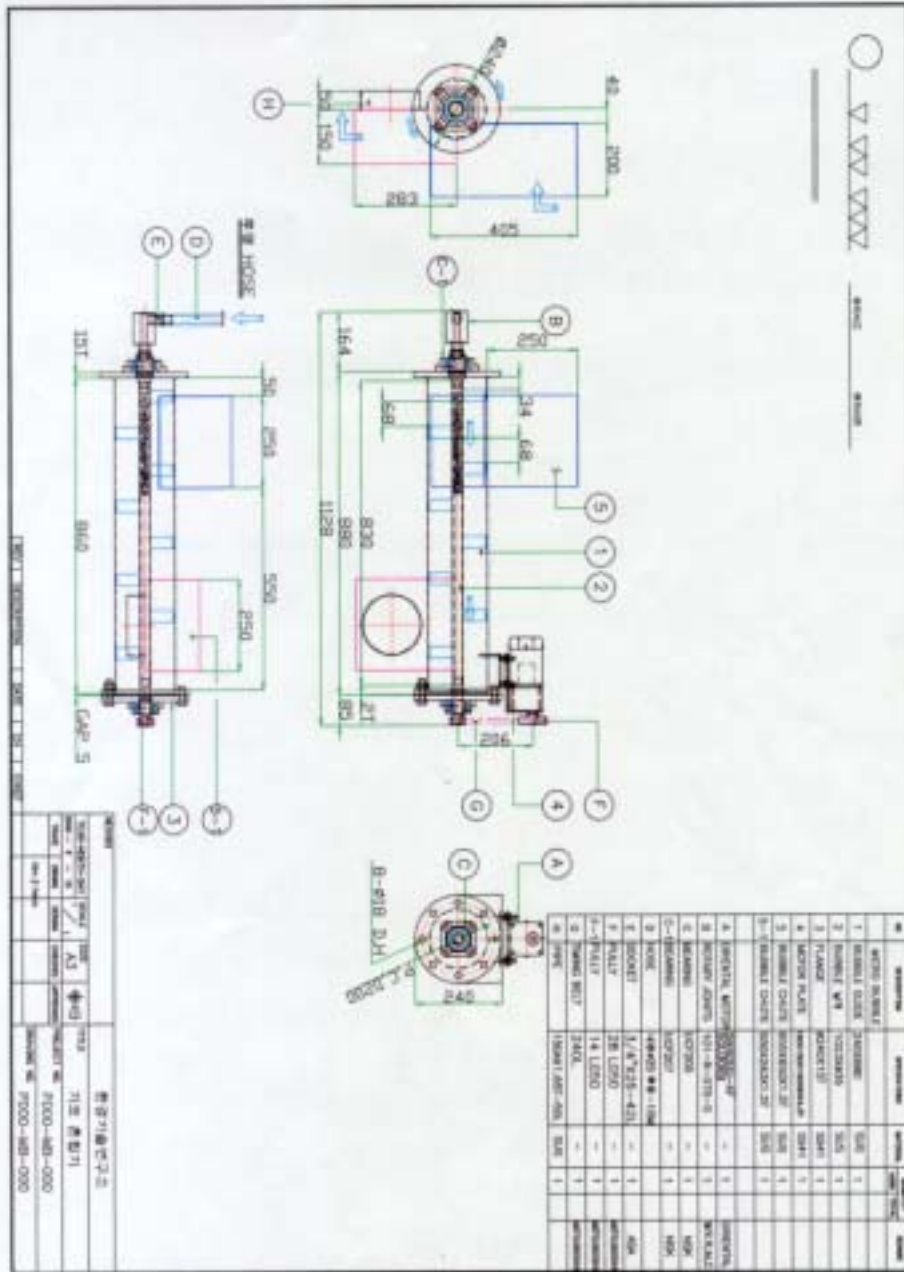
제1절 미세기포에 의한 고액분리시스템의 표준화설계도

1) 직사각형 부상시스템



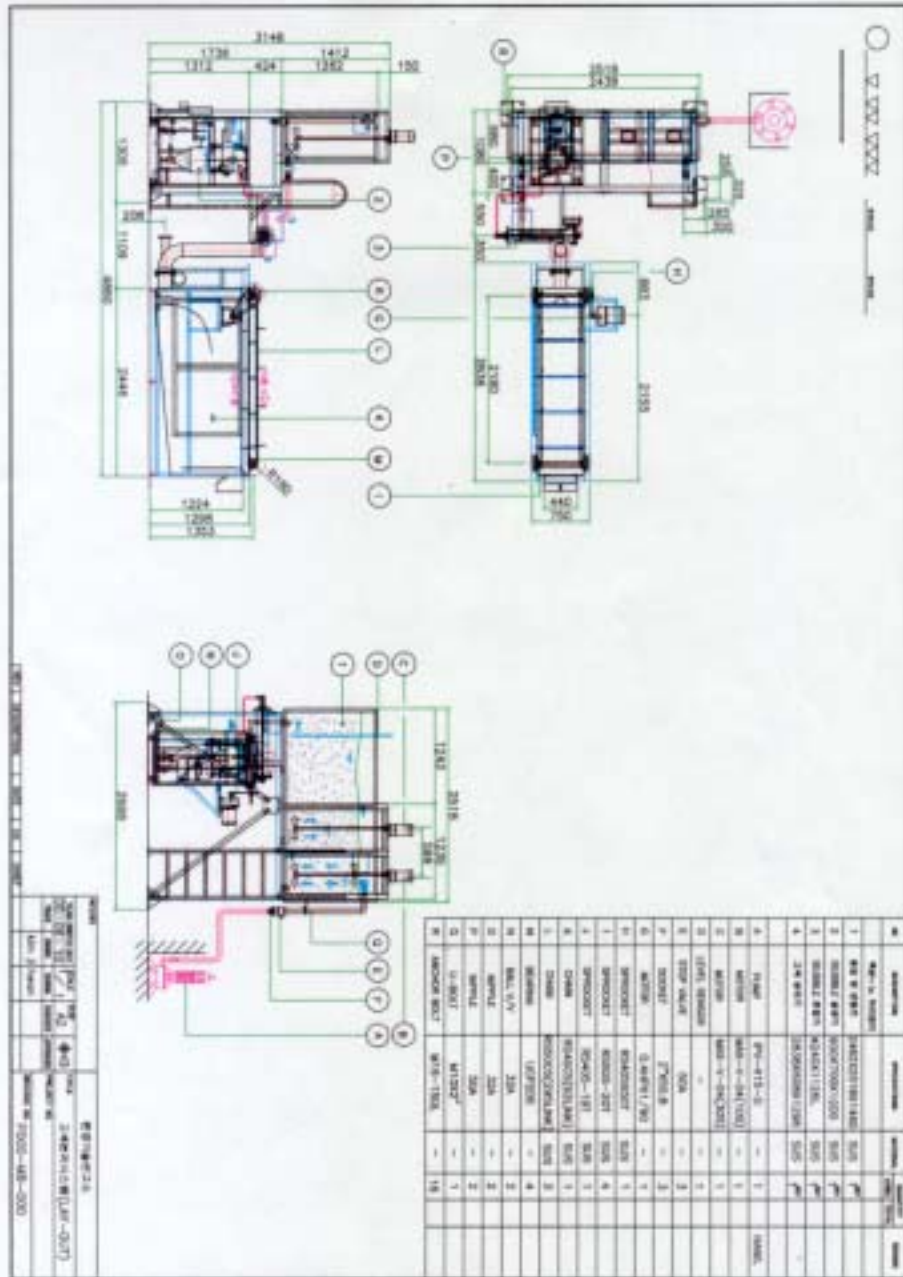
도면 1. 미세기포 발생 Generator 제작 설계도면

도면 2. 미세기포 혼합기의 제작 설계도면



도면 2. 미세기포 혼합기의 제작 설계도면

도면 4. 고액분리시스템 전체 구성도



도면 4. 고액분리시스템 전체 구성도

< 참 고 문 헌 >

1. 환경부: 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률, 1997
2. 농림부, 축협중앙회: 축산분뇨처리사업 홍보교육, pp.20~23, 1998, 7
3. 축산신문: 가축분뇨처리가이드, 1994
4. 환경부: 축산폐수정화시설 표준설계도, 1995, 11
5. 농림부: 가축통계, 2001, 12
6. 농림부: 가축분뇨자원 및 이용기술개발 최종연구보고서, 제1권, 제2권 2000, 9
7. 환경부: 고시 제1999-109, 1999, 7
8. 농림부, 축협중앙회: 축산분뇨처리시책 및 기술교육, 2000, 3
9. www.konetic.or.kr: 설계시공, 환경기초시설
10. 松尾友拒: 水質環境工學, 技報堂出版(株), 1976
11. 鈴木信夫: 水處理管理便覽編輯委員會, 丸善株式會社, 1997
12. 金南天: 水處理實驗, 동화출판, 2000
13. Miwon Commercial Co., Ltd
14. 남기대: 계면활성제 (1)~(4), 수서원, 1991
15. Super Froth™: Enviro-Bubbles Flotation, Inc., sacramento, CA 95827-1427
16. 국윤환: 콜로이드와 계면활성제, 대광서림, 1997
17. 김성연: 세제와 세탁의 과학, 교문사, 1998
18. 농촌진흥청, 축산기술연구소: 새로운 가축분뇨처리기술, 1997
19. 평창군: 평창군 분뇨처리시설 기술진단보고서, 환경관리공단, 2001, 1
- 19-1 환경부: 오·폐수 탈질, 탈인 기술, 한국과학기술원, 1995, 12
- 19-2 최의소: 환경공학, 청문각, 1995
20. 농촌진흥청, 축산기술연구소: 새로운 가축분뇨처리기술, 1997, 4
21. 농림부: 축산환경만교재, 1998
22. 농촌진흥청, 농업과학기술원: 가축분뇨퇴비, 액비화 제조와 이용, 1999, 12

23. 한국환경과학연구협의회: 농촌 소규모 오수처리 시설을 이용한 축산폐수의 효율적 처리방안에 관한 연구, 1991, 8
24. 권재혁: 생물막공법을 이용한 돈사폐수처리, 강원대학교 토목공학과 박사학위 논문, 1994
25. 한국과학기술원: 오염물 제거를 위한 생물막 공법과 트리관련공법, 제4차 환경공학분야 산학협동공개강좌, 1989
26. Bryers, J. D. and Characklis, W.G: Process governing primary biofilm formation, *Biotechnol. Bioeng.* 24: pp.2451 ~2476, 1982
27. Trulear, M.G. and characklis, W.G: Dynamics of biofilm processes, *JWPCF* , 54: pp.1288, 1982
28. Shieh, W.K: Mass transfer in a rotating biological contactor, *water Res.* 16: pp.1071 ~1074, 1982
29. 한국건설기술연구원: 미생물 접착재를 이용한 수처리시스템 개발에 관한 연구, pp.151, 1991
30. 정남조: 분뇨정화조에 있어서 접촉기질 설치와 포기효과, 연세대학교 대학원 석사학위 논문, pp.46, 1985
31. 홍성철: 침적형 생물막법에 의한 저농도 폐수처리에 관한 실험적연구, 서울대학교 보건대학원 석사학위논문, 1987
32. 박종용: 호기성 침적형 생물막 공법이 처리효율에 미치는 영향인자, 서울시립대학교 박사학위논문, 1988
33. Lida, Y and Teranish, A: Nitrogen removal from municipal wastewater by a single submerged filter, *JWPCF*, 56(3): pp.251 ~258, 1984
34. Henning, M.L. and Wheatey, D: Low-rate biofiltration system using random plastics media, *water poll. control*, 78: pp.54 ~68, 1979
35. 小早川, 徹馬, 東信治, 大谷光伸, 廣道郎: 接觸酸化法에 의한 汚水處理, *水處理技術*, 20(7):pp 677 ~682, 1979

36. 北尾高○, 浸積濾床用 接觸材의 基本條件 및 水質操作條件에 對應한 選擇法, 用水와 廢水, 23(4):pp.381~387, 1981
37. 환경부: 수질환경오염공정시험법, 1999
38. 하수시험법: 일본하수도협회, 1985
39. 須藤降一: 圖說 生物相으로 본 處理技能의 診斷, 産業用水調査會, 1991
40. Hao, O.J., and Li, C.T.: Effects of slowly Biodegradable Organics on kinetic Coefficients, J.san. Eng. Div, vol. 113, No.1,pp.147~154

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

부록 1. 양돈농가(박석농장)의 집수조 폐수 농도

DATE	pH	CODcr (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	T-P (mg/l)	TS (mg/l)	VSS (mg/l)	AIK. (mg/l)	NH ₃ -N (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)
7/2	7.73	76,493	37,125	5,019	175	61,325	43,891	11,000	2,906	67.4
7/31	7.20	60,800	29,700	3,080	174	40,865	28,810	6,400	2,985	64.4
8/25	8.38	42,988	29,000	2,758	80	28,440	19,245	6,200	2,596	62.2
9/10	8.66	27,944	10,000	2,466	87	23,240	13,360	-	2,135	-
Avr.	7.99	52,056	26,456	3,330	129	38,467	26,326	7,867	2,655	64.7

부록 2. 미세기포에 의한 고액분리시스템의 분리액 농도

DATE	pH	CODcr (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	T-P (mg/l)	TS (mg/l)	VSS (mg/l)	NH ₃ -N (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)
7/ 2	6.72	19,200	11,209	2,110	2.20	216.6	129	2,760	67.0
7/31	6.08	18,800	12,737	2,336	1.13	136.7	94	7,554	49.7
8/25	6.96	13,289	7,958	1,578	0.86	313.4	273	1,199	27.9
9/10	6.87	8,870	3,174	1,620	2.10	156.7	89	1,296	56.6
9/16	7.63	7,664	3,857	1,752	1.01	280.0	266	1,304	48.7
Avr.	6.85	13,564	7,787	1,879	1.46	221.0	170.2	2,823	49.9

부록 3. 탈암모니아 처리수의 농도(정화반응조 유입원수의 농도)

No.	DATE	pH	COD _{Cr} (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	TKN (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	TS (mg/ℓ)	VSS (mg/ℓ)	NH ₃ -N (mg/ℓ)	NO ₂ -N (mg/ℓ)
1	7/10	7.03	6,534	4,624	738.4	1.25	100	90	621.2	6.20
2	8/ 3	7.36	9,280	5,800	974.1	0.81	104	90	637.3	5.93
3	8/ 8	7.56	6,880	4,080	735.4	0.70	77	73	481.3	3.55
4	8/29	6.90	6,713	4,200	742.4	0.51	105	95	593.3	5.74
5	9/ 6	7.70	6,878	4,320	724.2	1.41	125	102	570.5	3.99
6	9/16	7.45	6,320	4,250	724.7	1.37	130	105	645.7	6.79
7	9/26	7.65	6,867	4,660	731.9	0.72	160	135	565.3	4.04
Avr.		7.38	7,067	4,562	767.3	0.97	114.4	98.6	587.8	5.18

※ 부상분리액에 회석수를 1 : 1 비율로 혼합해서 탈암모니아 시켰슴(Air stripping)

부록 4. A line 배열 정화처리 최종처리수의 농도

DATE	Q (ℓ/day)	pH	Temp. (°C)	CODcr (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	TKN (mg/ℓ)	NH ₄ ⁺ -N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	VSS (mg/ℓ)	COD _{Mn} (mg/ℓ)
8/29	5.79	7.98	21	797	157	520	414	N.D	40	35	-
9/ 5	5.75	8.50	24	1,406	183	484	406	0.76	310	261	-
9/11	5.70	5.74	23	670	103	494	399	N.D	106	90	-
9/13	5.40	5.72	23	526	52	351	302	N.D	38	29	-
9/16	5.28	8.40	24	1,091	102	381	327	N.D	80	70	-
9/18	6.10	8.40	22	1,074	96	630	458	N.D	81	69	-
9/21	6.08	8.10	23	887	64	643	467	N.D	58	52	-
9/22	6.00	7.90	20	778	52	653	467	N.D	56	50	-
9/24	6.90	7.10	21	748	59	633	459	N.D	36	31	257
9/25	6.00	8.10	22	984	71	669	487	N.D	28	25	225
9/27	6.00	8.30	23	1,249	157	635	471	0.88	187	176	424
9/28	5.56	7.00	21	773	66	548	434	N.D	40	36	269
10/5	-	8.00	22	976	126	658	494	N.D	92	84	190
10/6	-	-	-	1,354	217	653	487	N.D	183	173	458
Avt.	5.04	7.09	20.6	950.9	107.5	567	436.8	N.D	95.3	84	303.8

부록 5. B line 배열 정화처리 최종처리수의 농도

DATE	Q (ℓ/day)	pH	Temp. (°C)	CODcr (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	TKN (mg/ℓ)	NH ₄ ⁺ -N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	VSS (mg/ℓ)	COD _{Mn} (mg/ℓ)
8/29	5.79	5.96	23	1,055	92	420	345	N.D	20	-	-
9/ 3	6.45	6.35	24	938	87	311	280	N.D	9.0	8.5	-
9/ 7	6.40	5.91	24	844	90	364	324	N.D	20	18	-
9/10	6.40	8.50	23	1,357	110	453	365	1.24	42	-	389
9/13	5.30	8.50	23	1,357	96	404	345	0.92	18	-	154
9/16	5.60	6.64	24	753	93	392	343	N.D	28	26	-
9/18	5.30	6.70	23	736	92	400	337	N.D	9.5	-	-
9/21	5.40	6.80	23	696	59	382	320	N.D	6	5.7	-
9/22	5.50	6.90	20	592	43	428	354	N.D	6	5.4	-
9/24	5.16	6.70	22	576	58	396	337	N.D	27	25	219
9/25	5.20	6.60	22	726	56	399	358	N.D	19	18	208
9/27	6.50	5.80	23	626	78	444	368	N.D	43	40	218
9/28	5.20	6.70	22	513	43	399	350	N.D	30	25	206
10/5	6.40	6.50	22	677	80	410	384	N.D	26	22	141
10/6	5.80	-	-	637	97	-	-	N.D	110	96	263
Avr.	5.76	6.30	21.2	805.5	78.2	400.1	343.5	N.D	27.5	17	209

부록 6. A line 제1유동상생물막조 유출수 농도

DATE	pH	COD _{Cr} (mg/ℓ)	COD _{Mn} (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	TKN (mg/ℓ)	NH ₃ -N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)
10/13	6.9	1,331	500	365	601	543.2	N.D	144
10/16	7.1	926	416	136	602	536.1	N.D	104
10/17	6.8	984	386	196	585	533.0	N.D	84
10/18	7.2	907	497	173	595	525.0	N.D	58
10/19	7.2	1,351	508	285	648	529.0	N.D	82
Avr.	7.04	1,099.8	461.4	231	606.2	533.3	N.D	94

부록 7. B line 제1유동상생물막조 유출수 농도

DATE	pH	COD _{Cr} (mg/ℓ)	COD _{Mn} (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	TKN (mg/ℓ)	NH ₃ -N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)
10/13	7.2	849	384	186	590	518	N.D	27
10/16	7.2	826	349	153	582	529	N.D	34
10/17	7.3	851	378	171	590	534	N.D	11
10/18	6.9	855	379	159	587	526	N.D	15
10/19	6.8	810	382	176	602	531	N.D	21
Avr.	7.08	838.2	374.4	169	590.2	527.6	N.D	22

부록 8. A line 제2유동상생물막조 유출수 농도

DATE	pH	Temp. (°C)	CODcr (mg/ℓ)	COD _{Mn} (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	TKN (mg/ℓ)	NH ₃ -N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)
10/ 8	6.6	20	1,116	475	489	560	476.7	N.D	88
10/ 9	6.7	21	1,036	549	555	549	424.2	N.D	90
10/10	6.9	20	1,115	506	471	558	490.0	N.D	101
10/11	6.7	21	1,076	494	450	555	483.0	N.D	97
10/12	6.5	21	1,116	512	396	556	489.0	N.D	90
Avr.	6.68	20.6	1,091.8	507.2	472.2	555.6	472.5	N.D	93.2

부록 9. B line 제3, 4유동상생물막조 유출수 농도

DATE	pH	Temp. (°C)	CODcr (mg/ℓ)	COD _{Mn} (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	TKN (mg/ℓ)	NH ₃ -N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)
10/ 8	6.8	20	797	281	100	433	400.7	0.7	32
10/ 9	6.9	20	637	274	101	444	399.3	N.D	38
10/10	6.7	21	654	280	82	445	400.7	0.71	50
10/11	6.9	21	651	289	85	435	399.0	0.73	51
10/12	7.0	21	639	272	77	439	405.0	0.72	53
Avr.	6.86	20.6	675.6	279.2	89	439.2	400.9	0.57	44.8