

최 중
연구보고서

부유 · 흡착에 의한 축산폐수 처리 및 비료화
기술개발

Development of Fertilizing & Treatment Process
with Floating/Adsorption System for
Livestock Wastewater

한국생산기술연구원

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “부유·흡착에 의한 축산폐수 처리 및 비료화 기술개발” 과제의
최종보고서로 제출합니다.

2002 년 12 월 5 일

주관연구기관명 : 한국생산기술연구원

총괄연구책임자 : 신 명 교

연 구 원 : 김 경 수

연 구 원 : 전 용 보

위탁연구기관명 : 강원대학교

위탁연구책임자 : 김 정 제

연 구 원 : 조 병 옥

참 여 기 업 명 : 한중기계산업(주)

연 구 원 : 이 법 종

요 약 문

I. 제 목

부유·흡착에 의한 축산폐수 처리 및 비료화 기술개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

'98년말 기준으로 우리나라에서 하루에 발생하는 축산폐수량은 약 19만톤으로서 전체 폐하수발생량의 1.0%에 불과하지만 BOD 부하량은 전체부하량의 15%인 985톤/일로서 축산폐수의 경우 고농도의 부유성 용존성물질과 질소농도가 상대적으로 매우 높아 수질오염의 주원인이다. 축산 분뇨는 발생량의 대부분을 자원화 및 정화방법으로 처리하는데(약 92%) 고농도 유기성물질을 다량 포함하고 있는 축산폐수처리를 위하여 지금까지 혐기성처리법 및 호기성처리법이 주로 적용되어왔으나 그다지 만족스러운 결과를 얻고 있지는 못하며 최근들어 새로운 공법이 도입되고 있다. 이러한 점들을 개선하고 대체하기 위한 방안으로서 본 연구의 부유흡착법은 원폐수를 회석하지 않고 직접 처리함으로서 BOD 원인물질 및 총질소등을 처리함과 동시에 생성되는 Perlite 부산물을 비료화함으로서 자원재활용함을 목적으로 하고 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 3년간(1999. 12. - 2002. 12.)의 연구로서 1년차 Perlite 흡착 및 부유기술개발, 2년차 축산폐수 처리시스템 구축, 3년차 처리시스템의 최적화를 하는 것이다.

○ 1차 연도

- 부유·흡착 기술과 고온산화공정에 대한 기초연구 실시
- 축산폐수의 특성조사
- 주요단위공정연구
- Perlite 화합물 비료화연구

○ 2차 연도

- 축산폐수 처리시스템 구축
- 운전조건 검토
- 비료활용을 위한 perlite 유기복합체의 POT 및 Field Test

○ 3차 연도

- 운전조건 최적화
- 최종방류농도의 적정화 방안 검토
- Perlite 유기화합물 비료화

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

가. 돈분뇨폐수처리 시스템을 구축하고 시스템의 최적화를 위한 조건을 검토하였다.

- 부유·흡착시스템 설계를 위한 시뮬레이션을 실시하였다.
- 운전압력 및 운전온도가 높을수록 유동속도가 증가하여 Ejector의 혼합율이 증가하여 고온산화장치의 처리율이 향상되었다.
- Perlite Ejector는 Perlite와 돈분뇨폐수의 혼합을 목적으로 적용하였고 Oxidation Ejector는 Single Type보다 Multi Type이 더 효과적인 것으로 판단되었다.
- BOD 부하는 최적 운전 조건에서 고온산화반응조에서 Single Ejector Type 52%, Multi Ejector Type 95% 저감 가능할 것으로 평가되었다.
- COD 부하는 최적 운전 조건에서 고온산화반응조에서 Single Ejector Type 50%, Multi Ejector Type 95% 저감 가능할 것으로 평가되었다.
- T-N 부하는 최적 운전 조건에서 고온산화반응조에서 Single Ejector Type 33%, Multi Ejector Type 90% 저감 가능할 것으로 평가되었다.

나. Perlite 부산물의 비료화 방안을 검토하였다.

- Perlite를 흡착제로 사용함으로써 perlite 자체의 토양 개량 능력과 함께 흡착된 유기화합물 및 질소, 인화합물을 영양원으로 활용이 가능하여 유기질 비료로서의 활용성이 매우 클 것으로 예상된다.
- Perlite 시제품의 시용효과가 크게 인정되나, Perlite의 입도 및 처리방법등에 따라 효능에 차이가 있으므로 이를 고려하여야 한다.

다. 경제성 개선효과

- 소요 시설부지가 비교적 적고 운전이 용이하여 기존 처리시설에 비하여 경제적이므로 축산농가의 경쟁력 강화에 기여할 것으로 예상된다.
- 본 시스템의 투자비용은 기존 공공축산폐수처리시설의 50% 수준으로 1년간 운전시 28,100,000원/년 운영 수익발생을 예상한다.

2. 활용방안

가. 중소규모 축산농가에서 배출되는 축산폐수를 별도 회석없이 처리 및 비료화 가능하며 처리수는 최종 방류가능하도록 검토하였다.

나. 생산되는 Perlite 부산물은 양질의 비료원료로서 화학비료를 대체하여 유기농법에 의한 농산물 생산으로 농업경쟁력을 강화할 것으로 예상된다.

다. 우리나라의 경우 2001년 현재 전국에서 952만두의 돼지가 사육되고 있으며 허가대상 4,969호, 신고대상 8,499호이므로 이를 고려할 경우 약 1,000개소 이상의 설치가 가능하여 1,500억원 정도의 시장규모를 이룰것으로 예상된다.

라. 기술개발 사업기간에 확보한 성과물을 축산관련 유관기관 및 양돈농가에 이전·확산함으로써 참여기업이 받은 수혜를 공유하고 정부의 축산농가 생산성을 장려하는 정책에 적극 동참할 예정이다.

SUMMARY

I . Title

Development of fertilizing and treatment process with floating/adsorption system for livestock wastewater

II. Purpose and importance of study

On the year of 1998, the amount of the livestock wastewater was about 1,900,000ton per day in our country. Eventhough the livestock waste is 1% of total waste-sewage water, BOD load factor is 985ton/day which is 15% of total load factor. The livestock waste water is a main source of water pollution because of highly concentrated floating dissolved materials as well as nitrogen. 92% of the livestock wastewater are threated by means of purification and as a source of resources. Anaerobic and aerobic treatments have been applied for purification. But new high efficent technique is needed. The new technique here we introduced is flotating/adsorption method. Total nitrogen and fundamental sources for BOD are well treated without dilution of origianl livestock wastewater. Furthermore adsorbed perlite can be used as a organic fertilizer.

III. Contents of study

This is 3 years projects(1999. 12. - 2002. 12.). Perlite adsorption and development of floating technology have been done in the first year. In the second year, construction of livestock wastewater treatment system was established and system optimization was a main object in the third year.

○ First year

- Performing background study of floating/adsorption technology and high

temperature oxidation process

- Investigation of livestock wastewater
 - Major unit operation study
 - Study of perlite organic compound fertilizer
- Second year
- Livestock wastewater treatment system construction
 - Operating condition study
 - POT test and Field test of perlite organic compound for fertilizer application
- Third year
- Optimization of operating condition
 - Study of optimum plan for final discharge concentration
 - Perlite organic compound fertilizer

IV. Results and future study

1. Results

- A. We built the livestock wastewater treatment system and did system optimization.
- We did simulation for floating/adsorption system.
 - Under the condition of high pressure and temperature mixing of ejector is increasing and the rate of treatment of high temperature oxidation plant is high.
 - Perlite ejector was used for the purpose of mixing livestock wastewater and perlite. We studied that multi type was more efficient than single type in case of oxidation ejector.
 - Reduction of BOD load rate : Single Ejector Type 52%, Multi Ejector Type 95% at optimized condition
 - Reduction of COD load rate : Single Ejector Type 50%, Multi Ejector Type 95% at optimized condition
 - Reduction of T-N load rate : Single Ejector Type 33%, Multi Ejector Type 90% at optimized condition

B. We studied possibilities of using adsorbed perlite as a organic fertilizer.

- Because of adsorbed organic compound, nitrogen compound, and phosphorus compound as nutrient source in addition to soil improvement ability of perlite itself, We expect effective practical use of perlite as organic fertilizer.
- Perlite as a pilot product shows efficiently effective fertilizer, but we should consider perlite particle size and operating condition.

C. Economical improvement effect

- The developed technology is feasible because of several advantages such as small site, easy operation, and low operating costs compare to old technologies.

2. Future study

A. We studied that livestock waste water emitted from medium and small size livestock farm can be treated properly without predilution and can be used as a organic fertilizer. Treated waste water can be discharged.

B. We expect that perlite organic compound produced from treatment facilities can replace chemical fertilizer as a good quality fertilizer.

C. 130million dollar market is available when we apply at least 1,000plant.

D. We will share profit secured result from technology development, and participate in promoting policy of government for livestock raising farm by transferring and spreading to livestock raising facilities and farm. Technology transfer to related other livestock farm will be precessed.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	23
Section 1. Purpose of study	23
1. Background	23
2. Feasibility of technology import	25
Section 2. Contents and scope	26
1. Research Goal & contents	26
2. Annual research contents	27
3. Research method	30
Chapter 2. Status of current technologies	31
Section 1. General characteristics of livestock raising	31
1. Characteristics of livestock wastewater	31
2. Characteristics of livestock wastewater treatment	37
3. Characteristics of fertilizer supply and demand	54
Section 2. Characteristics of current livestock wastewater treatment technology	57
1. Characteristics and disadvantages of associated technology	57
2. Livestock wastewater treatment technology	59
Chapter 3. Results	65

Section 1. Development of perlite adsorption & Floating technology.	65
1. Application of finite element analysis in Floating/Adsorption system	65
2. Perlite	80
Section 2. Construction of livestock wastewater treatment system	97
1. Livestock wastewater treatment process	97
2. Manufacturing of high temperature oxidation plant	102
3. Results of livestock wastewater treatment system operation	118
4. The way for optimal application of livestock wastewater treatment system	151
Section 3. Agricultural application of perlite as a fertilizer	158
1. Agricultural application of perlite as a fertilizer I	158
2. Agricultural application of perlite as a fertilizer II	176
3. Agricultural application of perlite as a fertilizer III	193
4. Agricultural application of perlite as a fertilizer – 3 years summary	218
Section 4. Conclusions	226
Chapter 4. Degree of goal achievement and contribution to associated field	229
Section 1. Annual research goal and achievement	229

Section 2. Contribution to associated field technology evolution	233
1. The way for practical use of research achievement	233
2. Status of publication	234
Chapter 5. The way for practical use of research achievement	235
Section 1. The way for practical use	235
1. Expectation effects	235
2. Economical estimation	236
Section 2. Future study	239
Chapter 6. References	240
Apendix	243

목 차

제 1 장 서론	23
제1절 연구개발의 목적	23
1. 연구개발의 필요성	23
2. 기술도입의 타당성	25
제2절 연구개발의 내용 및 범위	26
1. 연구개발 목표와 내용	26
2. 연차별 연구개발 내용 및 범위	27
3. 연구개발 추진체계	30
제 2 장 국내·외 기술개발 현황	31
제1절 축산관련 일반현황	31
1. 축산폐수의 발생현황	31
2. 축산폐수의 처리현황	37
3. 비료수급현황	54
제2절 국내·외 축산폐수분야 기술개발현황	57
1. 국내·외 관련기술의 현황과 문제점	57
2. 축산폐수처리기술	59
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	65
제1절 Perlite 흡착 및 부유기술개발	65
1. 부유·흡착시스템에서의 유한요소해석법 적용	65
2. Perlite	80

제2절 축산폐수처리시스템 구축	97
1. 축산폐수처리공정	97
2. 고온산화장치제작	102
3. 축산폐수처리시스템 운전결과	118
4. 축산폐수처리시스템 최적화 방안	151
제3절 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 농업적 활용방안	158
1. 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 농업적 활용방안 I	158
2. 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 농업적 활용방안 II	176
3. 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 농업적 활용방안 III	193
4. 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 농업적 활용방안 3개년 종합	218
제4절 결론	226
 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	 229
제1절 연도별 연구목표 및 목표달성도	229
제2절 관련분야의 기술발전에의 기여도	233
1. 관련분야의 기술발전에의 기여도	233
2. 논문발표 현황	234
 제 5 장 연구개발결과의 활용계획	 235
제1절 활용방안	235
1. 기대효과	235
2. 경제성평가	236
제2절 향후 추진계획	239
 제 6 장 참고문헌	 240
 부록	 243

표 목 차

Table 1-1. 연구개발 추진체계	30
Table 2-1. 가축사육현황	31
Table 2-2. 오수·분뇨 및 축산폐수 발생현황 비교	32
Table 2-3. 축산농가현황	33
Table 2-4. 규모별 축산현황	34
Table 2-5. 축산폐수 발생현황	35
Table 2-6. 사육두수 및 가축별 배출원단위 개정 고시('99. 7. 8.)	36
Table 2-7. 오수처리시설 및 단독정화조의 방류수 수질기준	38
Table 2-8. 분뇨처리시설 및 축산폐수공공처리 시설에서의 방류수 수질기준	39
Table 2-9. 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준	40
Table 2-10. 허가대상 축산폐수배출시설	41
Table 2-11. 신고대상 축산폐수배출시설	42
Table 2-12. 축산폐수 처리시설별 현황	44
Table 2-13. 축산폐수 공공처리시설현황	46
Table 2-14. 허가대상 축산폐수 처리시설현황	49
Table 2-15. 신고대상 축산폐수 처리시설현황	50
Table 2-16. 국내 축산폐수 공공처리시설의 설계수질과 실제 유입수질	51
Table 2-17. 축산폐수 공공처리시설 슬러지 발생 및 처리현황	53
Table 2-18. 비료 생산량 및 소비량	54
Table 2-19. 축산폐수 처리시설의 분류	60
Table 2-20. 축산폐수처리공법의 비교	61
Table 2-21. 액비살포에 필요한 농경지의 면적('99. 7. 8.)	64
Table 3-1. 유체의 물리적 성질	66
Table 3-2. Perlite와 Zeolite의 주요 화학적 구성 성분	80
Table 3-3. 천연 Zeolite의 성질	82
Table 3-4. Perlite와 Zeolite의 비교	84
Table 3-5. Perlite의 규격	87

Table 3-6. Perlite Particle Size	89
Table 3-7. Perlite Porosity	90
Table 3-8. Perlite Surface Area	95
Table 3-9. Burning System Specification	106
Table 3-10. Heat Exchanger Specification	109
Table 3-11. DSM 탈수기 Specification	112
Table 3-12. 축산폐수의 이화학적 특성	118
Table 3-13. 축산폐수의 계절별 특성	119
Table 3-14. 축산폐수의 계절별 특성	121
Table 3-15. 분석방법	123
Table 3-16. 시료의 보존방법	124
Table 3-17. 고온산화반응조에서의 돈분뇨폐수와 Perlite의 처리	130
Table 3-18. 고온산화반응조에서의 고농도 돈분뇨폐수와 Perlite의 처리	131
Table 3-19. 고온산화반응조에서의 저농도 돈분뇨폐수와 Perlite의 처리	131
Table 3-20. 고온산화반응조에서 고농도 돈분뇨폐수와 저농도 돈분뇨폐수의 처리율 비교	132
Table 3-21.(a) Single-Ejector 테스트(유기물류)	133
Table 3-21.(b) Single-Ejector 테스트(영양염류)	133
Table 3-22.(a) Multi-Ejector와 Single-Ejector의 병용 테스트(유기물류)	135
Table 3-22.(b) Multi-Ejector와 Single-Ejector의 병용 테스트(영양염류)	135
Table 3-23. Perlite 부산물의 비료성분 분석 비교	136
Table 3-24. 부산물비료 비료공정 규격(1998. 10.)	137
Table 3-25. perlite의 강열감량 비교	137
Table 3-26. 용출시험결과	139
Table 3-27. 계면활성제 분석법	142
Table 3-28. 돈분뇨폐수의 NaOCl에 의한 분해 특성	144
Table 3-29. 미생물과 관계되는 수질기준	148
Table 3-30. 대장균수 테스트 결과	149
Table 3-31. 운전결과 종합	156

Table 3-32. Chemical properties of the experimental soil.	159
Table 3-33. Chemical properties of the experimental products which treated piggery manure with Perlite.	160
Table 3-34. Treatment combinations for Lettuce growth in the greenhouse.	161
Table 3-35. Treatment combinations for Chinese cabbage growth in the field experiment.	162
Table 3-36. Growth and yield parameters of Lettuce as influenced by experiment of product of the Perlite piggery manure treatments.	163
Table 3-37. Nutrient uptake by Lettuce Leaf as affected by treatment combinations. (%)	168
Table 3-38. Chemical properties of soil after harvesting of Lettuce as affected by treatment combinations.	170
Table 3-39. Growth and yield parameters of Chinese cabbage as influenced by experimental products of Perlite piggery manure treatments.	174
Table 3-40. Chemical properties of the experimental products which treated piggery manure with Perlite	176
Table 3-41. Perlite 시제품의 미량원소, 수분함량, C/N율	177
Table 3-42. Chemical propertise of the experimental soil	178
Table 3-43. Chemical properties of the experimental products which treated piggery manure with Perlite	178
Table 3-44. Perlite 시제품 중 미량원소와 중금속 함량	179
Table 3-45. Treatment combinations for Lettuce growth in the vinylhouse	182
Table 3-46. Treatment combinations for Chinese cabbage growth in the field	182
Table 3-47. Growth of Lettuce as influenced by experiment of product of the Perlite piggery manure treatment	184
Table 3-48. Comparison of fresh and dry weight of Lettuce as influenced by experimental products of perlite piggery manure treatments	185
Table 3-49. Growth and yield parameters of Lettuce as influenced by	

experimental products of perlite piggery manure treatments	186
Table 3-50. Growth of Chinese cabbage as influenced by experiment of product of the perlite piggery manure treatment	189
Table 3-51. Chemical properties of the experimental soil	194
Table 3-52. Chemical properties of the experimental products which treated piggery manure with Perlite	194
Table 3-53. Treatment combinations for Lettuce growth in the greenhouse	196
Table 3-54. Treatment combinations for Chinese cabbage growth in the field experiment	197
Table 3-55. Growth parameters of Lettuce as influenced by experimental product of the Perlite treated piggery manure	198
Table 3-56. Yield parameters of Lettuce as influenced by experimental product of the Perlite treated with piggery manure	200
Table 3-57. Nutrient uptake by Lettuce leaf as affected by treatment combinations(%)	205
Table 3-58. Chemical properties of soil.	206
Table 3-59. Growth and Yield parameters of Chinese cabbage as influenced by experimental product of the Perlite treated with piggery manure	210
Table 3-60. Nutrient uptake by Chinese cabbage as affected by treatment combinations	214
Table 3-61. Chemical properties of soil as affected by treatments.	215
Table 3-62. Chemical properties of soil as affected by treatments	216
Table 3-63. Chemical properties of the experimental soil	219
Table 3-64. Chemical properties of the experimental products which treated piggery manure with Perlite	219
Table 3-65. Treatment combinations for Lettuce growth in the greenhouse	221
Table 3-66. Treatment combinations for Chinese cabbage growth in the field experiment	222
Table 3-67. Yield parameters of Lettuce as influenced by experiment of	

product of the Perlite treated with piggery manure	223
Table 3-68. Yield parameters of Chinese cabbage as influenced by experiment of product of the Perlite treated with piggery manure	224
Table 4-1. 연구평가의 착안점	229
Table 4-2. 연구목표대비 달성도	232
Table 5-1. 경제성 검토(예상)	227

그 립 목 차

Fig. 2-1. 비료성분별 비료생산량(자료 : 농림부)	55
Fig. 2-2. 비료성분별 비료소비량(자료 : 농림부)	55
Fig. 2-3. 비료종별 비료생산량(자료 : 농림부)	56
Fig. 2-4. 비료종별 비료소비량(자료 : 농림부)	56
Fig. 3-1. perlite-ejector	67
Fig. 3-2. single-ejector	68
Fig. 3-3. multi-ejector	68
Fig. 3-4. perlite-ejector	69
Fig. 3-5. single-ejector	70
Fig. 3-6. multi-ejector	70
Fig. 3-7. perlite-ejector	71
Fig. 3-8. single-ejector	72
Fig. 3-9. multi-ejector	72
Fig. 3-10. perlite-ejector(P : 1kg/cm ²)	73
Fig. 3-11. perlite-ejector(P : 6kg/cm ²)	74
Fig. 3-12. single-ejector(P : 1kg/cm ²)	75
Fig. 3-13. single-ejector(P : 6kg/cm ²)	75
Fig. 3-14. multi-ejector(P : 1kg/cm ²)	76
Fig. 3-15. multi-ejector(P : 6kg/cm ²)	77
Fig. 3-16. perlite-ejector	78
Fig. 3-17. single-ejector	78
Fig. 3-18. multi-ejector	79
Fig. 3-19. Perlite A : Porosity(Cumulative Intrusion vs Pore Size)	91
Fig. 3-20. Perlite A : Porosity(Cumulative Intrusion vs Pressure)	91
Fig. 3-21. Perlite B : Porosity(Cumulative Intrusion vs Pore Size)	92
Fig. 3-22. Perlite B : Porosity(Cumulative Intrusion vs Pressure)	93
Fig. 3-23. Perlite C : Porosity(Cumulative Intrusion vs Pore Size)	94

Fig. 3-24. Perlite C : Porosity(Cumulative Intrusion vs Pressure)	94
Fig. 3-25. Perlite의 SEM 분석도	96
Fig. 3-26. 돈분·노폐수 처리공정도	98
Fig. 3-27. 부유흡착 처리시스템 개략도	99
Fig. 3-28. 고온산화공정 전체 도면	100
Fig. 3-29. 부유흡착 처리시스템의 전경	101
Fig. 3-30. perlite 돈분노 혼합용 perlite-ejector	103
Fig. 3-31. 고온산화장치에서의 multi-ejector 설치 도면	104
Fig. 3-32. Perlite Ejector System	105
Fig. 3-33. Oxidation Ejector System	105
Fig. 3-34. Burning system	107
Fig. 3-35. Condenser System 개략도	110
Fig. 3-36. Condenser System	111
Fig. 3-37. DSM 탈수기 도면	113
Fig. 3-38. DSM Dehydrator	114
Fig. 3-39. 원수집수 System	116
Fig. 3-40. 버너시스템	116
Fig. 3-41. Perlite Ejector	116
Fig. 3-42. Oxidation Ejector	116
Fig. 3-43. Heat Exchanger System	117
Fig. 3-44. Reactor System	117
Fig. 3-45. DSM Dehydrator System	117
Fig. 3-46 Candle Filter System	117
Fig. 3-47. 축산폐수의 계절별 특성	120
Fig. 3-48. 축산폐수의 계절별 특성(자료 : 충남 O 처리장 분석자료)	122
Fig. 3-49. pH 변화시 NH ₃ -N의 농도변화(80℃ 반응)	125
Fig. 3-50. pH 변화시 T-N의 농도변화(80℃ 반응)	126
Fig. 3-51. pH 변화시 NH ₃ -N의 농도변화(100℃ 반응)	127
Fig. 3-52. pH 변화시 T-N의 농도변화(100℃ 반응)	127

Fig. 3-53. T-N 처리시 pH의 변화(100℃ 반응)	128
Fig. 3-54. 온도 변화시 NH ₃ -N의 농도변화(80℃ 와 100℃ 반응비교)	1129
Fig. 3-55. 온도 변화시 T-N의 농도변화(80℃ 와 100℃ 반응비교)	129
Fig. 3-56. 국내 폐기물공정시험법의 용출시험방법	138
Fig. 3-57.(a) new perlite 시료(700배 확대)	140
Fig. 3-57.(b) perlite-돈분처리 시료	140
Fig. 3-57.(c) perlite-돈분처리후 용출시험	140
Fig. 3-57.(d) perlite-돈분처리후 600	140
Fig. 3-58. 돈분뇨폐수의 NaOCl 반응에 의한 분해 특성	144
Fig. 3-59. 대장균균 시험법(최적확수 시험법)	147
Fig. 3-60. Yield index of fresh weight for Lettuce at harvest.	165
Fig. 3-61. Yield index of dry weight for Lettuce at harvest.	165
Fig. 3-62. Comparisons of Lettuce growth bewteen (NPK+OM), (NPK+TP30) and	166
Fig. 3-63. Comparisons of Lettuce growth bewteen (TP 30), (TP 20), (TP 10), (Control), and (NPK) treatment.	166
Fig. 3-64. Comparisons of Lettuce growth bewteen (NPK+OM), (NPK+TP30),	167
Fig. 3-65. Comparisons of Lettuce growth bewteen (NPK+OM), (NPK+OP),	167
Fig. 3-66. 배추 포장 처리구별 구획정리	171
Fig. 3-67. 처리구별 배추정식	172
Fig. 3-68. 배추 정식 20일 후 처리구별 생육상황	172
Fig. 3-69. Leaf length of Chinese cabbage.	173
Fig. 3-70. Leaf width of Chinese cabbage.	173
Fig. 3-71. 처리구별 구획 정리	181
Fig. 3-72. 처리구별 기비 시용	181
Fig 3-73. 상추 처리별 비교	187
Fig. 3-74. 수확기 상추의 처리별 비교	188

Fig. 3-75. 배추의 처리별 생육 상황	190
Fig. 3-76. 3차 추비시의 포장 전경	190
Fig. 3-77. Yield index of fresh weight for Lettuce at harvest	201
Fig. 3-78. Yield index of dry weight for Lettuce at harvest	201
Fig. 3-79. Growth of Lettuce as influenced by experiment of product of the Perlite piggery manure treatments.	202
Fig. 3-80. Comparisons of Lettuce growth bewteen (Control), (TP30), (TP20), (TP10), (NPK+TP30), (NPK+TP20), (NPK+TP10), (NPK+OM) and (NPK) treatment	203
Fig. 3-81. Comparisons of Lettuce growth bewteen (Control), (NPK+TP30), (NPK+TP20), (NPK+TP10) and (NPK) treatment	203
Fig. 3-82. Comparisons of Lettuce growth bewteen (Control), (NPK), (TP 10%), (TP20) and (TP30) treatment	204
Fig. 3-83. 처리별 토양 중 유효태 인산 함량 분포	208
Fig. 3-84. 처리별 토양 중 치환성 K 함량 분포	208
Fig. 3-85. 처리별 토양 중 치환성 Mg 함량 분포	209
Fig. 3-86. Yield index of fresh and dry weight for Chinese cabbage at harvest	211
Fig. 3-87. 배추묘 정식 25일후의 포장 전경	211
Fig. 3-88. 배추 속 비교	212
Fig. 3-89. 배추 구중의 처리별 비교	212
Fig. 3-90. 수확후 처리별 비교	213

제 1 장 서 론

제1절 연구개발의 목적

1. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

- '98년말 기준으로 우리나라에서 하루 발생하는 축산폐수량은 약 19만톤으로서 전체 하폐수 발생량의 1.0%를 차지하고 있음.
- BOD 부하량은 전체 부하량의 15%인 985톤/일로 특히 축산폐수의 경우 BOD 농도가 매우 높고 변화가 심하여 낮게는 3,000ppm에서 높게는 50,000ppm에 이르고 있음. 또한 축산폐수는 질소농도가 상대적으로 매우 높아 BOD 대 총질소의 비율이 100/20 ~ 100/40으로 호소부영양화의 주원인이 되고 있음.
- 축산폐수의 처리는 현재 화학적·생물학적 처리방법을 적용하여 BOD 5,000ppm 내외를 대상으로 처리하고 있으나 농도가 고농도이며 농도변화가 심하여 처리하기가 어려움.
- 화학적처리의 경우 화학약품 사용량이 많으며 특히 용존 BOD 원인물질의 제거가 어려워 단독처리는 매우 어려운 실정이며 총질소와 인의 제거는 사실상 불가능함.
- 생물학적처리의 경우 축산폐수의 특성이 과산소량을 요하며 특히 농도부하의 민감도가 높아 5,000ppm 정도로 순응처리시 농도부하가 저농도(1,000ppm 내외, 여름 장마철의 경우 우수가 유입되어 BOD 농도회석)로 가거나 고농도(최대 20,000ppm) 원폐수가 직접 유입될 경우 미생물 활성이 떨어져 사실상 처리가 안되고 있음.
- 아울러 총질소와 인의 경우 BOD 원인물질 제거시 동시처리가 되지 않아 2차 또는 후처리 개념으로 생물학적 처리가 추가로 소요되어 실제적으로 과다한 투자 및 운전조건을 요구하므로 축산폐수의 처리를 어렵게하고 있음.
- 환경부등에서 추진하는 축산폐수집단처리시설(7개시설, 1997년말 현재) 경우도 BOD 농도 및 발생량 측정미흡등으로 인하여 가동시 어려움이 많은 것으로 나타남.
- 화학생물학적 처리이외에 액비화, 톱밥사료화, 토양침투등의 방법을 적용하고 있으

나 전체 축산폐수의 처리에는 역부족이며 또한 토양오염, 수질오염등 2차 오염이 우려되고 수분조절을 위한 토밥, 왕겨등의 조절제가 다량 요구되어 비용상승이 우려됨.

- 본 연구에서 추진하고자 하는 부유·흡착법은 원폐수를 회석하지 않고 직접 perlite에 흡착시킴으로서 BOD 원인물질 및 총질소와 인을 제거하고 동시에 발생하는 perlite 복합물을 비료화함. 단독 perlite의 경우 토양개량제로 성능이 뛰어나 유기물질 및 질소나 인의 복합화물로 흡착시 비료로서도 뛰어난 기능을 보일 것으로 전망됨. 우리나라에서는 직접처리에 대한 연구가 전무하며 이 분야의 기술개발이 시급함.

나. 경제·산업적 측면

- '94년말 현재 우리나라의 가축사육두수는 소 294만두, 돼지 596만두, 닭 8,057만두로서 '85년의 소 294만두, 돼지 285만두, 닭 5,108만두에 비하여 과거 10년간 돼지는 2.1배, 닭은 1.6배증가되어 왔으며 소사육두수는 같은 수준을 유지하고 있음.

- 돼지의 경우 '85년도에 사육두수는 285만두, 사육농가 25만호로서 가축사육농가당 사육두수는 평균 11.4마리였으나 '94년도에는 가구당 사육두수가 110마리로서 양돈농가의 규모가 대형화하고 있음.

- 축산폐수의 발생량은 '94년말 현재의 사육두수를 기준으로 추정하여 보면 분 68,050톤/일, 뇨 38,803톤/일로 예측되나 축사에서 배출되는 실제 발생량은 수분조절제등의 추가로 예측치보다 훨씬 큰 것으로 판단함.

- 축산분뇨의 생산량은 전체 GNP대비 1.5%에 이르고 있어 축산폐수의 경제적·효율적인 처리설비의 보급이 요구됨. 아울러 현재 총질소 및 인에 대한 규제가 강화되어 축산산업 보호측면에서도 대책마련이 시급함.

다. 사회·문화적 측면

- 축산폐수가 환경에 미치는 영향은 크게 수질, 악취분야로 나눌수 있으며 특히 수계의 경우 인근지역의 토양오염 및 지하수오염과 상수원오염등으로 사회·문화적인 측면이 매우 큼.

- 수질오염

- '98년말 기준으로 우리나라에서 하루에 발생하는 축산폐수량은 약 17만톤으로서 전체 하폐수 발생량의 1.0%를 차지하고 있으나 BOD 부하량은 985톤/일로서 전체부하량의 15%를 차지하고 있음.

- 일본의 경우 '92년에 발생한 축산관계의 불만중 수질오염과 관련한 내용이 전체의 39%를 차지하고 있으며 가축종류별로는 양돈이 52%, 낙농 29%를 차지하고 있음.

- 악취발생

- 축산폐수의 악취성분으로는 주로 암모니아, 황화수소, 휘발성지방산 등으로 일본의 경우 '92년에 발생한 축산관계의 불만중 악취와 관련한 내용이 전체의 61%를 차지하고 있으며 가축 종류별로는 양돈이 40%, 낙농 29%, 양계 22%, 육우 9%순이었음.

2. 기술도입의 타당성

본과제에 적용하고자하는 핵심기술은 Ejector에 의한 강제부유방식과 perlite를 미디어로 사용한 흡착이 주요 기술로 Ejector의 경우 스웨덴의 Boilden사가 부상시스템에 대한 연구경험이 많은 것으로 조사되었음. 그러나 본 사업에서는 한중기계산업주식회사에서 Ejector의 국산화에 성공하여 관련핵심기술을 확보하고 있어 기술도입의 필요성은 낮음. 응용연구의 성격으로 주연구내용은 perlite 선정, 흡착조건, 폐수성상에 따른 운전조건등으로 기술도입보다는 응용기술개발이 바람직함. 다만 이 분야의 자료확보는 지속적으로 추진되어야한다고 판단됨.

제2절 연구개발의 내용 및 범위

1. 연구개발 목표와 내용

가. 연구개발 목표

- 강제부유방식과 perlite를 미디어로 활용하여 중소규모 축산농가에서 발생하는 원액을 별도의 전처리나 희석없이 처리하여 BOD 및 총질소를 95% 이상 제거하며 부산물로 얻어진 perlite 유기물질 복합체는 비료화함.

나. 내용

- 축산폐수 특성과악 및 부유제 선정
 - 폐수특성조사
 - 부유제선정
 - 부유제 종류별 흡착특성조사
 - 부유제의 비중/크기에 따른 흡착량 검토
- 부유촉진 계면활성제 메커니즘 규명
 - 계면활성제 종류 선정
 - 계면활성제의 환경적 안정성 검토
 - 계면활성제 투입조건 조사
- 강제부유장치 활용연구
 - 1톤/hr 규모 시작품제작
 - 부유후 분리장치 제작
 - 부유조건 및 효과측정
- perlite filtration에 의한 처리
 - Packing volume, size 및 흡착메커니즘 규명
- 연속처리시스템 설계 : 25톤/일 규모
- perlite 유기복합체의 비료화 검토

- 복합물내 유기물함량 조사
- 유기물 복합체의 비료화 현장실험

2. 연차별 연구개발 내용 및 범위

가. 1차 연도

- 기초조사
 - 기초문헌조사 및 축산폐수의 특성조사
- 축산폐수 분석
- 주요단위공정연구
- 부유제선정 및 활용연구
 - 부유제(perlite)의 물리적특성 검토
 - 각종 흡착제의비교
 - 유기물흡착
 - 질소화합물 흡착
 - 인화합물흡착
- 부유장치제작 및 성능개선
 - 부유장치, 탈수장치등의 기본설계실시
 - 부유장치 제작 및 운전에 따른 문제점 검토
- perlite 화합물 비료화연구
 - 문헌조사 및 기초실험을 통한 perlite 유기복합체의 비료화 가능성 조사
 - 각종 처리조건의 적용 및 검토
 - 유기질 비료로의 활용을 위한 탈착연구

나. 2차 연도

- 축산폐수 처리시스템 구축
 - 25톤/일 처리규모의 시스템 설계
 - 연속처리 시스템 구성
- 운전조건 검토 및 현장 설치
 - 계면활성제 선정
 - 계면활성제 첨가에 따른 흡착특성 검토
 - 계면활성제 투입농도결정
 - 계면활성제 투입에 따른 BOD 원인물질 흡착특성 검토
 - 계면활성제의 환경적 안정성 및 거동 검토
- perlite 유기물복합체의 회수 · 분리조건 검토
 - RPM 영향
 - 온도영향
 - 스크린 종류 및 site 검토
 - 분리를 위한 처리시간
- 비료활용을 위한 perlite 유기복합체의 POT 및 Field Test
 - 염류집적에 의한 작물성장 저해 및 토양변화 조사

다. 3차 연도

- 운전조건 최적화
 - 유입농도별 처리특성
 - 총질소/총인 제거조건 및 효율제고
 - 계절에 따른 돈분뇨의 성상변화를 고려

- 운전시간 저감

- perlite의 흡착능력 제고
 - perlite size를 다양하게 조절하여 흡착량을 비교 검토(보완사항)
 - Ejector system 적용시 돈분뇨원수중의 협잡물에 의한 운전의 장애가 최소화 되도록 하기 위한 방안 검토

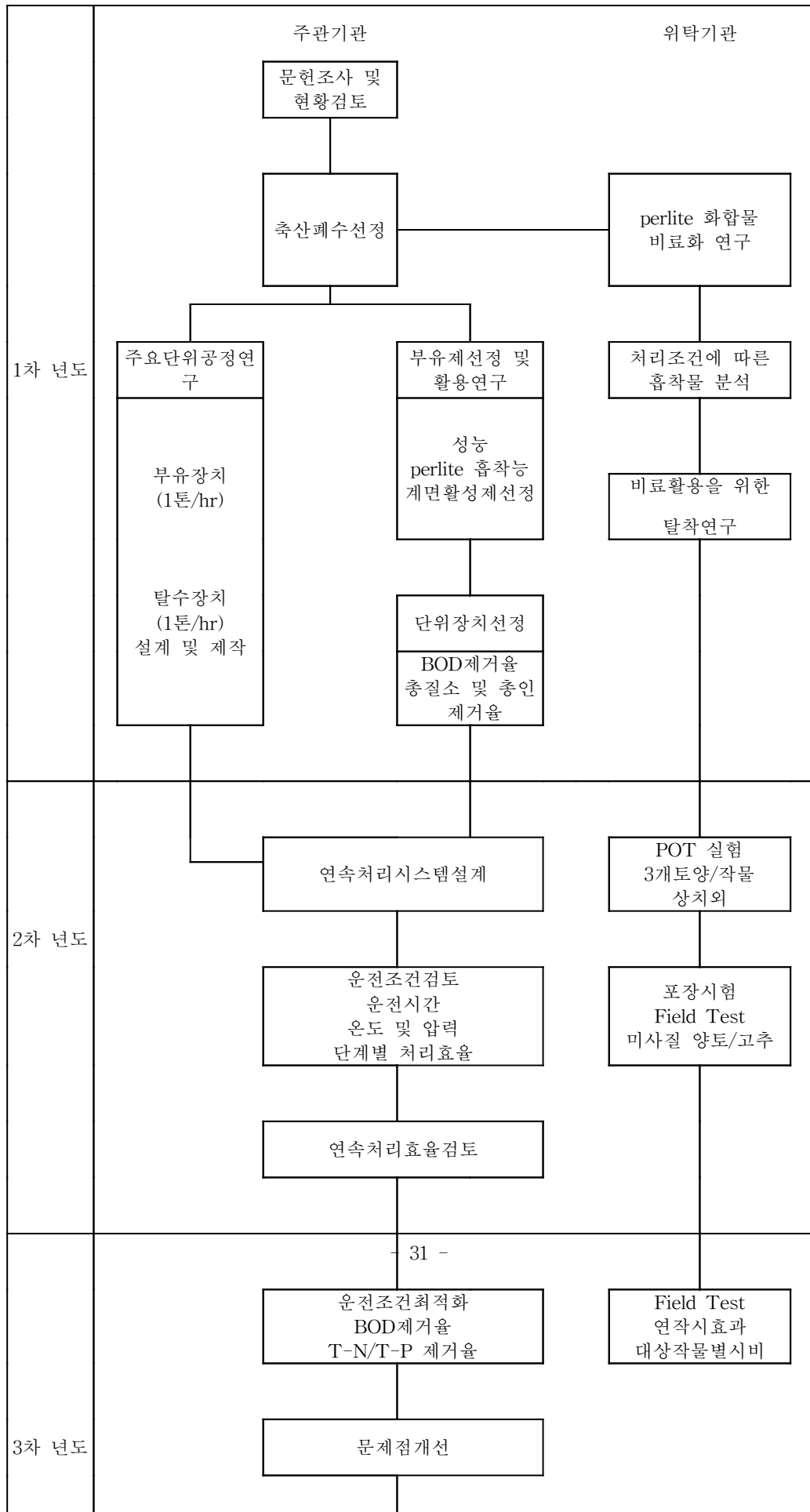
- 최종방류농도의 적정화

- perlite 유기화합물 비료화
 - 운전조건에 따른 비료화 효율 측정방법 확립
 - POT test
 - Fields test
 - 연작시험 및 대상작물 검토
 - perlite 부산물 비료를 작물의 성장을 위하여 시비할 경우 토양 성상의 변화를 검토

3. 연구개발 추진체계

다음 Table 1-1. 에 연구개발 추진체계를 나타내었다.

Table 1-1. 연구개발 추진체계



제 2 장 국내 · 외 기술개발 현황

제1절 축산관련 일반현황

1. 축산폐수의 발생현황

축산업은 '90년부터 그 규모가 대형화 추세에 있으며 연평균 5~6%씩 증가하고 있다. 다음 Table 2-1. 에 가축사육현황을 나타내었는데 2001년 현재 우리나라의 가축 사육두수는 소 1,620천두, 돼지 9,520천두, 닭 147,679수로 '90년의 소 1,622천두, 돼지 4,528천두, 닭 74,463수에 비하여 과거 10여년간 대략적으로 소는 1.0배, 돼지는 2.1배, 닭은 2.0배 정도 증가하였다. 최근들어 한육우 및 젓소의 경우에는 사육두수의 증가를 거의 보이지 않고 있으나 특히 돼지의 경우 '90년도의 사육두수 4,528천두에서 2001년 9,520천두로 증가하였으며 양돈농가의 규모도 대형화되고 있다.

Table 2-1. 가축사육현황

(단위 : 천두, 천수)

구분	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
한육우	1,622	2,594	2,483	2,735	2,383	2,057	1,750	1,620
젓소	504	553	551	544	539	524	520	554
돼지	4,528	6,461	6,516	7,096	7,544	8,595	8,832	9,520
닭	74,463	85,799	82,829	88,251	85,847	121,257	133,301	147,679

주) 1999년, 2000년, 2001년의 경우에는 한육우는 소와 말이 닭은 닭과 오리가 합산된 것임

오수·분뇨 및 축산폐수 발생현황을 다음 Table 2-2 에 비교하였는데 '01년말 기준으로 우리나라에서는 오수발생량 15,632,656m³/일, 분뇨발생량 48,227m³/일, 축산폐수 발생량 15,811,789m³/일로서 생활오수의 경우가 발생량이 98.9%로 대부분을 차지하며 축산폐수의발생량은 0.8% 이었다. 최근 3년간 발생량은 약간의 증가추세를 보이

고 있으며 축산폐수의 경우 오수에 비하여 발생량은 작으나 오염부하량은 월등히 크므로 축산폐수의 처리가 왜 강조되는지를 알 수 있다.

Table 2-2. 오수·분뇨 및 축산폐수 발생현황 비교

(단위 : m³/일)

구분	1999	2000	2001
오수발생량	15,484,409	15,441,365	15,632,656
분뇨발생량	47,493	47,388	48,227
축산폐수발생량	128,461	125,100	130,906
계	15,660,363	15,613,853	15,811,789

다음 Table 2-3. 은 축산농가현황을 나타낸 것이다. 축산폐수처리를 하고 있는 농가는 허가대상, 신고대상, 신고미만대상으로 구분되며 2001년 현재 돼지의 경우 허가대상 농가수는 4,969호이고 신고대상 농가수는 8,499호이며 신고미만대상은 10,440호이다. 돼지를 사육하는 허가대상 농가의 경우 1999년 4,489호에서 2001년 4,969호로 점차 증가하는 추세를 보이고 있는데 이는 돼지를 사육하는 농가의 규모가 점차 대형화되고 있기 때문으로 사료된다.

Table 2-3. 축산농가현황

(단위 : 호)

구분		1999	2000	2001
허가대상	젓소	1,269	1,584	1,889
	소 말	2,267	2,400	2,711
	돼지	4,489	4,822	4,969
신고대상	젓소	5,241	6,099	6,143
	소 말	16,857	18,995	19,995
	돼지	8,959	9,151	8,499
신고미만	젓소	7,883	11,503	8,143
	소 말	289,387	250,557	215,195
	돼지	11,081	14,721	10,440
계	젓소	14,393	19,186	16,175
	소 말	308,511	271,952	237,901
	돼지	24,529	28,694	23,908

다음 Table 2-4 는 규모별 축산현황을 나타낸 것이다. 축산농가 규모별로 사육하는 젓소, 소·말, 돼지의 가축종 두수의 연도에 따른 변동사항을 나타낸 것이다. 축산농가 규모별 사육두수를 보면 2001년 현재 돼지의 경우 허가대상이 6,442,307두 신고대상은 2,763,475두 신고미만은 314,656두로서 허가대상 농가에서 대규모로 가축을 사육하고 있음을 알수 있다. 연도에 따른 축산현황 추이를 보더라도 돼지를 사육하는 허가대상 농가의 경우 1999년 5,323,138두에서 2001년 6,442,307두로 점차 증가하는 추세를 보이고 있다.

Table 2-4. 규모별 축산현황

(단위 : 두)

구분		1999	2000	2001
허가대상	젖소	107,373	152,650	188,697
	소 말	268,207	264,752	297,844
	돼지	5,323,138	5,677,889	6,442,307
신고대상	젖소	221,237	271,375	278,886
	소 말	580,589	582,174	609,835
	돼지	2,629,733	2,901,439	2,763,475
신고미만	젖소	195,970	95,892	87,494
	소 말	1,208,564	902,639	712,779
	돼지	642,595	353,030	314,556
계	젖소	524,580	519,917	555,077
	소 말	2,057,360	1,749,565	1,620,458
	돼지	8,595,466	8,932,358	9,520,338

다음 Table 2-5. 는 축산폐수 발생현황을 나타낸 것이다. 축산농가 규모별로 발생하는 축산폐수의 양을 젖소, 소·말, 돼지의 가축종과 연도에 따른 변동사항을 나타낸 것이다. 2001년 현재 돼지의 경우 허가대상이 55,368m³/일, 6,442,307두 신고대상은 23,477m³/일 그리고 신고미만은 3,052m³/일로서 허가대상 농가에서 발생하는 축산폐수의 양이 월등히 많음을 알 수 있다. 연도에 따른 축산폐수 발생현황 추이를 보면 돼지의 경우 허가대상 농가는 1999년 45,773m³/일에서 2001년 55,368m³/일로 돼지 사육두수의 증가와 함께 급격히 증가하는 추세를 보이고 있다. 허가대상, 신고대상 및 신고미만을 막라한 축산폐수의 발생현황을 살펴보면 해를 거듭할수록 발생량이 증가함을 알 수 있다.

Table 2-5. 축산폐수 발생현황

(단위 : m³/일)

구분		1999	2000	2001
허가대상	젖소	4,900	6,961	8,612
	소 말	3,914	3,866	4,338
	돼지	45,773	48,793	55,368
신고대상	젖소	10,084	12,348	12,700
	소 말	8,6446	8,513	8,903
	돼지	22,563	23,920	23,477
신고미만	젖소	8,945	4,392	4,039
	소 말	18,042	13,159	10,416
	돼지	5,594	3,148	3,052
계	젖소	23,929	23,701	25,351
	소 말	30,602	25,538	23,567
	돼지	73,930	75,861	81,898

농림부에서는 친환경농업의 일환으로 축산 분뇨를 퇴비·액비화하여 재활용자원으로의 이용을 촉진하기 위하여 가축별 분뇨 배출원단위와 액비살포 농경지면적의 기준을 각각 개정하고 또한 축산분뇨자원화처리시설 표준설계도를 개발하였는데 다음 Table 2-6. 에 개정된 사육두수 및 가축별 배출원단위를 나타내었다. 돼지는 종전의 12L/두·일에서 8.6L/두·일로 72% 수준으로 감소하였고 소(한우)·말과 젖소는 종전에 35L/두·일로서 같은 원단위이었으나 개정된 자료에 의하면 소(한우)·말은 14.6L/두·일로서 42% 수준으로 감소하였고 반면 젖소는 45.6L/두·일로서 130% 수준으로 증가하였다. 발생원단위는 축산폐수의 오염부하량 결정 및 축산폐수처리시설의 용량 결정 및 처리수 수준의 결정에 있어 중요한 인자이다. 이제까지 여러 기관에서 가축 분뇨 발생원단위를 조사하여 보고한 바가 있지만 유량의 측정방법, 축사의 형태등 여러 가지 다른 기준들을 적용함에 있어 다소간의 차이가 존재할 수 있기에 발생원단위 산출을 위한 객관적인 기준이 필요할 것이다.

축사에서 발생하는 축산폐수의 특성은 축사시설의 형태, 분뇨 분리 작업, 청소방법 및 사용하는 용수의 양에 따라 크게 변화한다. 일반적으로 축산폐수는 하루중 한두시간의 청소시간에 집중 발생하는 경향이 있다. 축산폐수의 발생특성은 '99. 7. 8. 의 배출원단위 개정고시에 의하면 돼지의 경우 8.6L/두·일로서 종전의 72% 수준이고 소(한우)·말의 경우는 14.6/두·일로서 종전의 42% 수준이며 젖소의 경우는 45.6/두·일로서 종전의 130%로서 원단위가 비교적 크게 증가하였다.

Table 2-6. 사육두수 및 가축별 배출원단위 개정 고시('99. 7. 8.)

(단위 : L/두·일)

구분	종전	개정	대비
돼지	12	8.6	72%
소(한우)·말	35	14.6	42%
젖소		45.6	130%

* 사육두수 : 오염물질 채취일 당시 오염 물질을 배출하는 축산폐수 배출시설에서 실제로 사육하고 있는 가축두수를 말하며 가축두수 산정시에는 가축의 연령에 관계없이 1두로 산정한다. 다만, 실제 가축두수의 산정이 불가능하거나 산정한 가축두수가 실제 가축두수와 현저한 차이가 있다고 인정되는 경우에는 축산폐수배출시설 및 축산 폐수 처리시설 관리일지상의 시료채취일 직전 최근 30일간 사육한 평균 가축두수로 선정할 수 있다.

* 비고 : 오염물질량을 정확히 산정할 수 있는 적산유량계등의 기기를 부착하고 있는 축산폐수배출시설로서 사육두수 및 가축별배출원단위를 이용하여 산정한 일일유량이 실제유량과 현저한 차이가 있다고 인정되는 경우에는 그 기기에 의해 산정된 값을 일유량으로 할 수 있다.

2. 축산폐수의 처리현황

가. 축산폐수처리 관련법규

인구증가, 국민생활수준의 향상, 산업의 발달등으로 인한 생활오수, 산업폐수 및 축산폐수의 발생량 증가는 전국의 상수원을 포함한 주요하천을 오염시키고 있다. 이전에는 폐기물관리법과 수질환경보전법에서 부분적으로 규제하여 왔으나 맑은물 공급과 하천·호소등의 수질 보전을 위한 체계적인 관리가 필요하게 되어 폐기물관리법등 관련법규에서 오수·분뇨 및 축산폐수에 관계되는 조항을 분리 보완하여 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한법률을 1991. 3. 8. 법률 제4364호로 제정 공포하여 1991. 9. 9.부터 시행하였고 1999. 2. 8. 에 3차 개정되기에 이르렀다.

이 법은 오수·분뇨 및 축산폐수를 적정하게 처리하여 자연환경과 생활환경을 청결히 하고 수질오염을 감소시킴으로써 국민보건의 향상과 환경보전에 이바지함을 목적으로 하고 국가는 분뇨 및 축산폐수의 처리에 대한 기술을 연구 개발 지원하고 지방자치단체의 책무가 이행되도록 필요한 기술적 재정적 지원 및 사업에 대한 조정의 책무를 갖는다.

이 법에서 사용하는 주요 용어의 정의는 다음과 같다. 오수라 함은 액체성 또는 고체성의 더러운 물질이 섞이어 그 상태로는 사람의 생활이나 사업활동에 사용할 수 없는 물로서 사람의 일상생활과 관련하여 수세식화장실·목욕탕·주방등에서 배출되는 것을 말한다. 분뇨라 함은 수거식화장실에서 수거되는 액체성 또는 고체성의 오염물질(오수처리시설 및 단독정화조의 청소과정에서 발생하는 오니중 탈수되지 아니한 것을 포함한다)을 말한다. 가축분뇨라 함은 가축이 배설하는 액체성 또는 고체성의 오염물질을 말한다.(1999.2.8 신설) 축산폐수라 함은 가축분뇨와 축산폐수배출시설을 청소한 물이 가축분뇨에 섞인 것을 말한다. 축산폐수배출시설이라 함은 가축의 사육으로 인하여 축산폐수가 배출되는 시설 및 장소 등으로서 축사 기타 환경부령이 정하는 것을 말한다.

환경부장관 또는 시·도지사는 지방자치단체간의 분뇨 및 축산폐수의 처리사업의 조정을 함에 있어서 분뇨처리시설 및 축산폐수처리시설의 공동사용을 권고하고 당해 시설이 설치된 지역의 생활환경보전과 개선을 위하여 필요한 지원이 이루어지도록 권고하여야하고 지방자치단체의 장은 둘 이상의 시·군·구에서 발생하는 분뇨 또는 축산폐수를 광역적으로 관리하기 위하여 분뇨처리시설 및 축산폐수처리시설을 공동으로

설치·운영하여야 한다. 오수정화시설, 정화조, 분뇨처리시설, 축산폐수정화시설 및 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준은 총리령으로 정하되 특별 대책지역에 대하여는 수질오염방지를 위하여 필요한 경우 엄격한 기준을 정하여 시행해야 한다.

오수처리시설 및 단독정화조의 방류수수질기준은 다음 Table 2-7. 과 같다.

Table 2-7. 오수처리시설 및 단독정화조의 방류수 수질기준

지 역	구 분 항 목	단독정화조	오수처리시설
수변구역	생물화학적 산소요구량 제거율(%)	65 이상	-
	생물화학적 산소요구량(mg/ℓ)	100 이하	10 이하
	부유물질량(mg/ℓ)	-	10 이하
특정지역	생물화학적 산소요구량 제거율(%)	65 이상	-
	생물화학적 산소요구량(mg/ℓ)	100 이하	20 이하
	부유물질량(mg/ℓ)	-	20 이하
기타지역	생물화학적 산소요구량 제거율(%)	50 이상	-
	생물화학적 산소요구량 (mg/ℓ)	-	20 이하
	부유물질량(mg/ℓ)	-	20 이하
토양침투처리방법에 의한 단독정화조의 방류수수질기준은 다음과 같다. 가. 1차 처리장치에 의한 부유물질 50퍼센트 이상 제거 나. 1차 처리장치를 거쳐 토양침투시킬 때의 방류수의 부유물질량 250mg/ℓ 이하			
골프장 및 스키장에 설치된 오수처리시설의 방류수수질기준은 생물화학적산소요구량 10mg/ℓ 이하, 부유물질량 10mg/ℓ 이하로 한다. 다만, 숙박시설이 있는 골프장에 설치된 오수처리시설의 방류수수질기준은 생물화학적 산소요구량 5mg/ℓ 이하, 부유물질량 5mg/ℓ 이하로 한다.			

- 비고 : 1. 이 표에서 수변구역은 한강수계상수원수질개선및주민지원등에관한법률 제4조제1항의 규정에 의한 구역으로 하고, 특정지역은 영 제2조의2제1호·제2호 및 제4호 내지 제7호에 해당하는 구역 또는 지역으로 한다.
2. 수변구역 또는 특정지역이 하수도법 제6조의 규정에 의한 인가를 받은 하수종말처리시설, 동법 제6조의2의 규정에 의한 협의를 마친 마을하수도 또는 수질환경보전법 제26조의 규정에 의한 승인을 얻은 폐수종말처리시설의 예정처리구역에 해당되는 경우에는 당해 지역에 설치된 단독정화조에 대하여 기타지역의 방류수수질기준을 적용한다.

분뇨처리시설 및 축산폐수공공처리시설의 방류수수질기준은 다음 Table 2-8. 과 같다.

Table 2-8. 분뇨처리시설 및 축산폐수공공처리 시설에서의 방류수 수질기준
(1999. 1. 1일부터 적용하는 기준, 공공처리시설)

항 목 구 분	생물화학적 산소요구량 (mg/ℓ)	화 학 적 산소요구량 (mg/ℓ)	부유 물질량 (mg/ℓ)	대장균 군수 (개수/mg)	기타((mg/ℓ)
분뇨처리시설	30이하	50이하	30이하	3,000이하	총질소 : 60이하 총 인 : 8이하
축산폐수공공 처리시설	30이하	50이하	30이하	3,000이하	총질소 : 60이하 총 인 : 8이하

자가처리 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준을 다음 Table 2-9. 에 나타내었다. 방류수 수질기준은 1999. 12. 31. 까지 적용하는 기준과 2000. 1. 1.부터 적용하는 기준으로 차별화 되어있었는데 2000. 1. 1.부터 적용되는 개정된 수질기준에서는 종전에 누락되었던 특정지역에서의 총질소와 총인 항목이 추가되었고 수질기준도 전체적으로 강화되었다. 축산폐수배출시설의 설치허가를 받은자가 설치한 축산폐수처리시설에서의 생물화학적산소요구량과 부유물질량은 특정지역의 경우 50mg/L 이하로 축산폐수 배출시설의 설치신고를 한 자가 설치한 축산폐수처리시설에서는 150mg/L 이하로 기준이 강화되었다. 축산폐수배출시설의 설치허가를 받은 자가 설치한 축산폐수처리시설의 경우 특정지역에서 총질소는 260mg/L이하이고 총인은 50mg/L이하로 수질기준이 정해졌고 축산폐수배출시설의 설치신고를 한 자가 설치한 축산폐수처리시설에서는 총질소와 총인에 대한 별도의 기준은 마련되어 있지 않다. 기타지역의 경우 축산폐수 배출시설의 설치허가를 받은자가 설치한 축산폐수처리시설에서의 생물화학적산소요구량과 부유물질량은 특정지역의 경우 150mg/L 이하로 축산폐수배출시설의 설치신고를 한 자가 설치한 축산폐수처리시설에서는 350mg/L 이하로 특정지역에 비하여 기준이 낮게 설정되어있다.

Table 2-9. 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준

(2000. 1. 1.부터 적용하는 기준, 자가처리 시설)

구 분		축산폐수배출시설의 설치 허가를 받은 자가 설치한 축산폐수처리시설	축산폐수배출시설의 설치 신고를 한 자가 설치한 축 산폐수처리시설
항 목	지 역		
특정지역	생물화학적 산소요구량 (mg/ℓ)	50이하	150이하
	부유물질량 (mg/ℓ)	50이하	150이하
	총 질 소 (mg/ℓ)	260이하	-
	총 인 (mg/ℓ)	50이하	-
기타지역	생물화학적 산소요구량 (mg/ℓ)	150이하	350이하
	부유물질량 (mg/ℓ)	150이하	350이하

비고 : 1. 이 표에서 특정지역은 영 제2조의2제1호 내지 제7호 해당하는 지역 또는 구역으로 한다.

2. 다음 각목의 1에 해당하는 축산폐수배출시설의 설치신고를 한 자가 설치한 축산폐수처리시설의 방류수수질기준은 생물화학적 산소요구량 1,500mg/ℓ 이하로 한다.

가. 돼지 사육시설 : 면적 50㎡ 이상 140㎡ 미만

나. 소(젖소를 제외한다) 사육시설 : 면적 100㎡ 이상 200㎡ 미만

다. 젖소 사육시설 : 축사면적 100㎡ 이상 200㎡ 미만 또는 운동장 면적 300㎡ 이상 600㎡ 미만

라. 말 사육시설 : 면적 100㎡ 이상 200㎡ 미만

마. 닭·오리·양 사육시설 : 면적 150㎡ 이상 500㎡ 미만

바. 사슴 사육시설 : 면적 500㎡ 이상

다음의 Table 2-10. 은 허가대상 축산폐수 배출시설의 규모를 Table 2-11. 은 신고대상 축산폐수 배출시설의 규모를 나타낸 것이다. 오수처리시설 등의 운영·관리면에서 오수처리시설 또는 단독정화조의 소유자 또는 관리자는 오수를 처리함에 있어 다음에 해당하는 행위를 하여서는 안되는데 첫째 오수를 오수처리시설 또는 단독정화조에 유입시키지 아니하고 배출하거나 오수처리시설 또는 단독정화조에 유입시키지 아니하고 배출할 수 있는 시설을 설치하는 행위, 둘째 오수처리시설 또는 단독정화조에 유입되는 오수를 최종방류구를 거치지 아니하고 중간배출하거나 중간배출할 수 있는 시설을 설치하는 행위, 셋째 오수에 물을 섞어 처리하거나 물을 섞어 배출하는 행위, 넷째 정당한 사유없이 오수처리시설 또는 단독정화조를 정상적으로 가동하지 아니하여 제5조의 규정에 의한 방류수수질기준을 초과하는 오수를 배출하는 행위(1999.2.8 신설) 등이다. 한편 오수처리시설 또는 단독정화조의 소유자 또는 관리자는 방류수의 수질자가측정 및 내부청소 등에 관하여 환경부령이 정하는 관리기준에 따라 그 시설을 유지·관리하여야 하되, 당해 시설의 관리를 오수처리시설등 관리업의 허가를 받은 자에게 위탁할 수 있다.

Table 2-10. 허가대상 축산폐수배출시설

배출시설의 종류	규 모
돼지 사육시설	면적 1,000㎡이상. 다만 수질보전특별대책지역 등에서는 면적 500㎡이상으로 한다.
소 사육시설 (젖소를 제외한다)	면적 900㎡ 이상. 다만 수질보전특별대책지역 등에서는 면적 450㎡ 이상으로 한다.
젖소 사육시설	축사면적 900㎡이상 또는 운동장 면적 2,700㎡이상 다만, 수질보전특별대책지역등에서는 축사면적 450㎡이상 또는 운동장 면적 1,350㎡이상으로 한다.
말 사육시설	면적 900㎡ 이상. 다만 수질보전특별대책지역 등에서는 면적 450㎡ 이상으로 한다.

비고: 1. “수질보전특별대책지역등”이라 함은 제2조의제2제1호내지 제7호 각목에 해당하는 지역 또는 구역을 말한다.

2. “운동장”이라 함은 휴식이나 운동을 목적으로 젖소가 일시적으로 머무르는 장소를 말한다.

3. 동일 사업장안에 같은 종류의 시설이 2이상 있는 경우에는 각 시설의면적을 합산한 것을 당해 시설의 규모로 한다.
4. 동일 사업장안에 다른 종류의 시설이 2이상 있는 경우에는 다음식에 의하여 산출한 수치의 합이 1이상이면 허가대상 축산폐수배출시설로 본다.

제1축산폐수배출시설의 면적

제2축산폐수배출시설의 면적

----- + ----- + . .

해당 축산폐수배출시설의 기준면적

해당 축산폐수배출시설의 기본면적

Table 2-11. 신고대상 축산폐수배출시설

배출시설의 종류	규 모
돼지 사육시설	면적 50㎡이상 1,000㎡미만, 다만, 수질보전특별대책지역 등에서는 면적 50㎡ 이상 500㎡ 미만으로 한다.
소(젖소를 제외한다) 사육시설	면적 100㎡이상 900㎡미만. 다만, 수질보전특별대책지역 등에서는 면적 100㎡이상 450㎡ 미만으로 한다
젖소 사육시설	축사면적100㎡이상 900㎡미만 또는 운동장 면적 300㎡이상 2,700㎡미만. 다만, 수질보전특별대책지역등에서는 축사 면적 100㎡이상 450㎡미만 또는 운동장 면적 300㎡이상 1,350㎡ 미만으로한다
말 사육시설	면적 100㎡이상 900㎡마만. 다만, 수질보전특별대책지역 등 에서는 면적 100㎡이상 450㎡미만으로 한다.
닭·오리·양 사육시설	면적 150㎡이상
사슴 사육시설	면적 500㎡이상

비고: 1. “수질보전특별대책지역등”이라 함은 제2조의2제1호 내지 제7호에 해당하는 지역 또는 구역을 말한다.

2. “운동장”이라 함은 휴식이나 운동을 목적으로 젖소가 일시적으로 머무르는 장소를 말한다.

3. 동일 사업장안에 같은 종류의 시설이 2이상 있는 경우에는 각 시설의 면적을 합산한

것을 당해 시설의 규모로 한다.

4. 동일 사업장안에 다른 종류의 시설이 2이상 있는 경우에는 다음식에 의하여 산출한 수치의 합이 1이상이면 신고대상 축산폐수배출시설로 본다.

$$\frac{\text{제1축산폐수배출시설의 면적}}{\text{해당 축산폐수배출시설의 기준면적}} + \frac{\text{제2축산폐수배출시설의 면적}}{\text{해당 축산폐수배출시설의 기준면적}} + \dots$$

나. 축산폐수의 처리현황

축산 분뇨는 발생량의 대부분을 자원화 및 정화방법으로 처리하지만(약 92%) 일부는 해양배출이나 유출되는 것으로 추정된다. 다음의 Table 2-12. 는 국내 축산폐수 처리시설별 현황을 나타낸 것이다. '01 현재 축산폐수 공공처리시설은 52개소이며 시설용량은 10,825m³/일이고 허가대상 축산폐수처리시설 설치대상농가수는 9,569개소이며 신고대상 축산폐수처리시설 설치대상농가수는 39,915개소이다. 각 처리시설의 수는 경기도가 10,449개소로 가장 많았고 다음은 경상북도6,917개소 충청남도6,200개소의 순서이었다. 축산폐수공공처리시설은 경기도가 13개소로 가장 많고 전라북도에 4개소 및 전라남도에 7개소가 설치되어 있다. 축산폐수 공공처리시설의 시설용량면에서는 전라북도가 3,940m³/일로 가장 크며 다음은 경기도 2,650m³/일, 충청남도 1,050m³/일의 순이며 서울을 비롯한 부산, 대구, 광주, 대전, 울산등의 광역시에는 축산폐수 공공처리시설이 설치되어 있지 않았다. 축산폐수 공공처리시설은 현재 기존의 처리시설의 증설 및 신공법 적용과 새로운 처리장의 건설이 추진중에 있다.

Table 2-12. 축산폐수 처리시설별 현황

(단위 : 개소, m³/일)

지역	계	축산폐수 공공처리시설 (시설용량)	축산폐수처리시설 설치대상농가수 (허가대상)	축산폐수처리시설 설치대상농가수 (신고대상)
계	49,536	52 (10,825)	9,569	39,915
서울특별시	27	-	1	26
부산광역시	162	-	4	158
대구광역시	437	-	40	397
인천광역시	697	1 (100)	68	628
광주광역시	118	-	9	109
대전광역시	83	-	2	81
울산광역시	558	-	64	494
경기도	10,449	13 (2,650)	2,020	8,416
강원도	3,692	4 (700)	684	3,004
충청북도	2,970	4 (600)	616	2,350
충청남도	6,200	5 (1,050)	1,174	5,021
전라북도	5,547	8 (3,940)	1,073	4,466
전라남도	5,793	7 (605)	838	4,948
경상북도	6,917	2 (180)	1,212	5,703
경상남도	5,217	6 (700)	1,433	3,778
제주도	669	2 (300)	331	336

(환경부자료 2001년 현재)

다음의 Table 2-13. 은 현재 가동중인 축산폐수 공공처리시설의 현황을 나타낸 것이다. '01년 현재 설치된 시설은 52개소로서 최초는 '93. 12. 에 경남 김해시에 설치된 처리시설이며 이후 점진적으로 증가하고 있다. 가동중이거나 설치중인 공공처리시설의 처리용량은 대개가 $50\text{m}^3/\text{일}$ ~ $200\text{m}^3/\text{일}$ 의 규모이며 전북 익산시에서 가동중인 처리장이 $3,100\text{m}^3/\text{일}$ 로서 가장 큰 규모이다. 가동중인 처리시설에 적용되고 있는 주요 공법은 혐기성소화공법이며 액상부식법, 호기미생물트랜치법, 활성오니법, 미생물접촉법등이 일부 적용되어 있는 실정이다. 한편 현재 설치중인 시설에 적용되고 있는 일부 새로운 공법으로는 바이오세라믹법, 자연정화법, P.I.D. 산화구법, 비마법, 고효율 산화법등이 있다.

Table 2-13. 축산폐수 공공처리시설현황

지역	용량(m ³ /일)	준공일자	처리공법	방류수역	비고
인천광역시	100				
경기 용인시	1300	'96. 7.	혐기성소화	한강	하수연계
경기 남양주	100	'01. 1	B3	한강	하수연계
경기 평택시	90				추진중
경기 파주시	200	'01. 1.	액상부식	임진강	
경기 이천시	190	'94. 3.	혐기성소화	남한강	연계처리
경기 포천군	100	02. 3.	바이오세라믹	한탄강	
경기 파주시	80				추진중
경기 안성시	100				추진중
경기 광주시	100	98. 8.	자연정화	남한강	하수연계
경기 여주군	130	'98. 1.	자연정화	남한강	하수연계
경기 가평군	20		액상부식법	북한강	추진중
경기 양평군	200	'97. 8.	자연정화	남한강	하수연계
경기 연천군	150	99. 7.	액상부식	한탄강	하수연계
강원 원주시	350	'91. 12. '98. 11.	산화구	섬강	오수및축산 폐수
강원 홍천군	50	'02. 1.	바이오세라믹	홍천강	하수연계
강원 횡성군	100	'99. 9.	액상부식	섬강	
강원 철원군	200	'98. 12.	혐기성소화	한탄강	
충북 청원군	200	'92. 5.	HBR	금강	등곡
충북 청원군	200	'92. 1.	HBR	금강	내수
충북 청원군	100				공공 (추진중)

Table 2-13. 축산폐수 공공처리시설현황(계속)

지역	용량(m ³ /일)	준공일자	처리공법	방류수역	비고
충북 진천군	100	'01. 10.	회분식처리 공법	금강	하수연계
충남 공주시	250	'01. 3	SBR	금강	
충남 아산시	150	'00. 10.	PID산화구	삽교호	하수연계
충남 예산군	150	'01. 10.	자연정화 +HCR	삽교호	하수연계
충남 논산시	250	'96. 11.	액상부식법	서해	
충남 홍성군	250	'97. 8.	HYCEM	금강	추진중
전북 익산시	3100	'99. 1.	활성슬러지	만경강	
전북 김제시	130	'98. 12.	액상부식	만경강	
전북 임실군	200	'96. 9. '00. 1.	BIOSUF	섬진강	
전북 정읍시	150	'99. 10.	A2O	동진강	
전북 완주군	120	'99. 2.	액상부식	만경강	하수연계
전북 진안군	100	'00. 4.	액상부식	섬진강	
전북 장수군	70	'00. 5.	B3	금강	
전북 순창군	100	'99. 12.	액상부식	섬진강	
전남 순천시	60	'00. 10.	액상부식	섬진강	하수연계
전남 나주시	150	'02. 7.	액상부식	영산강	하수연계
전남 담양군	50	'99. 10.	자연정화	영산강	하수연계
전남 구례군	75	'00. 12.	액상부식	섬진강	하수연계
전남 보성군	70			보성강	추진중
전남 함평군	130	'00. 11.	액상부식	영산강	하수연계
전남 영암군	70				추진중

Table 2-13. 축산폐수 공공처리시설현황(계속)

지역	용량(m ³ /일)	준공일자	처리공법	방류수역	비고
경북 안동시	100	'94. 12.	MDT공법	낙동강	하수연계
경북 상주시	80	'95. 2.	액상부식	낙동강	
경남 김해시	130	'93. 12. '00. 8.	혐기성소화 BCS/SBR	낙동강	
경남 밀양시	100	'00. 11.	호기성소화	낙동강	하수연계
경남 의령군	100	'00. 7.	고효율산화	남강	하수연계
경남 함안군	150	'00. 6.	액상부식	남강	하수연계
경남 함양군	100	'00. 12.	액상부식	남강	하수연계
경남 합천군	120				추진중
북제주군	100				추진중
남제주군	200				추진중

(환경부자료 2001)

다음의 Table 2-14. 는 '01년 현재 축산폐수처리시설중 허가대상시설을 나타낸 것이다. 설치된 시설은 정화처리시설, 퇴비화시설 및 저장액비화시설로 대별할 수 있다. 우리나라 전체적으로 보면 퇴비화시설이 7,735개소로 가장 많으며 저장액비화시설 544개소와 정화처리시설 509개소가 설치 운영중이다. 허가대상 축산폐수 처리시설은 경기도가 2,020개소로 가장 많으며 경상남도 1,433개소, 경상북도 1,212개소, 충청남도 1,174개소, 전라북도 1,073개소의 순서로 설치되어 있다. 허가대상 축산폐수 처리시설 중 764개소는 위탁처리시설로 설치되어 있으며 17개소는 미설치 상태이다.

Table 2-14. 허가대상 축산폐수 처리시설현황

(단위 : 개소)

지역	설치대상 농가수	시설설치			위탁처리	미설치
		정화처리	퇴비화	저장액비화		
계	9,569	509	7,735	544	764	17
서울특별시	1		1			
부산광역시	4	1	3			
대구광역시	40	4	30	6		
인천광역시	68	9	56	3		
광주광역시	9		9			
대전광역시	2		2			
울산광역시	64	1	50	10	3	
경기도	2,020	154	1,618	47	201	
강원도	684	9	544	89	42	
충청북도	616	18	530	34	18	16
충청남도	1,174	215	823	106	30	
전라북도	1,073	2	833	46	192	
전라남도	838	6	777	37	18	
경상북도	1,212	22	1,053	58	79	
경상남도	1,433	51	1,211	15	155	1
제주도	331	17	195	93	26	

다음의 Table 2-15. 는 '01년 현재 축산폐수처리시설중 신고대상시설을 나타낸 것이다. 설치된 시설은 정화처리시설, 퇴비화시설 및 저장액비화시설로 대별할 수 있다. 허가대상 축산폐수 처리시설은 39,915개소인데 경기도가 8,416개소로 가장 많으며 경상북도 5,703개소, 충청남도 5,021개소, 전라남도 4,948개소의 순서로 설치되어 있다. 우리나라 전체적으로 보면 퇴비화시설이 33,282개소로 가장 많으며 저장액비화시설 2,720개소와 정화처리시설 1,860개소가 설치 운영중이다. 신고대상 축산폐수 처리시설 중 1,937개소는 위탁처리시설로 설치되어 있으며 116개소는 미설치 상태이다.

Table 2-15. 신고대상 축산폐수 처리시설현황

(단위 : 개소)

지역	설치대상 농가수	시설설치			위탁처리	미설치
		정화처리	퇴비화	저장액비화		
계	39,915	1,860	33,282	2,720	1,937	116
서울특별시	26	1	25			
부산광역시	158	7	131	11		9
대구광역시	397	1	346	50		
인천광역시	628	418	173	20	1	16
광주광역시	109		105	4		
대전광역시	81	1	79	1		
울산광역시	494	15	422	51	6	
경기도	8,416	681	6,567	677	491	
강원도	3,004	16	2,641	305	42	
충청북도	2,350	107	1,952	142	72	77
충청남도	5,021	443	3,695	531	352	
전라북도	4,466	37	3,711	119	567	
전라남도	4,948	7	4,772	147	22	
경상북도	5,703	21	5,207	306	169	
경상남도	3,778	83	3,205	295	181	14
제주도	336	334	22	251	63	

'99. 1. 1.부터 분뇨처리시설 및 축산폐수 공공처리시설에서의 방류수 수질기준이 강화되어 적용되고 있는데 기존의 T-N 항목은 120mg/L에서 60mg/L로, T-P항목은 16mg/L에서 8mg/L로 강화되었고 COD 및 대장균군수 항목이 추가되었다. 가동중인 기존의 축산폐수처리장의 경우 현재의 실제유입수질이 이미 설계수질 기준을 초과하고 있는 상태이므로 강화된 기준을 충족시키기 위해서는 새로운 시설의 보강이 필요한 실정이다. 다음 Table 2-16. 은 국내 축산폐수 공공처리시설의 설계수질과 실제유입수질을 나타낸 것이다. BOD의 경우 설계수질은 5,000mg/L 이지만 실제유입수질은 10,000mg/L ~ 20,000mg/L이고 T-N의 경우는 설계수질이 650mg/L 이지만 실제유입수질은 25,00mg/L ~ 5,000mg/L를 나타내고 있다.

부유물질과 협잡물이 많고 고농도 유기성폐수인 축산폐수의 처리를 위해서는 본처리 공정 이전에 전처리공정이 필요하다. 효율적인 축산폐수처리를 위하여 다양한 전처리공법이 적용되고 있는데 주로 물리적처리방법과 물리·화학적처리방법이 이용되고 있다. 물리적처리방법은 스크리닝과 분쇄, 침사지를 이용하는것이고 화학적처리방법은 화학적응집 및 침전을 적용하는 공정이다.

Table 2-16. 국내 축산폐수 공공처리시설의 설계수질과 실제 유입수질

구분	설계수질(mg/L) ¹⁾				실제유입수질(mg/L) ²⁾			
	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P
양평*	5,000	2,000	650	100	20,458	11,120	2,980	1,558
안동	5,000	2,000	650	80	15,000	8,000	2,500	350
김해**	5,000	2,000	-	-	5,800	3,200	3,300	150
상주	5,000	2,000	650	80	22,000	15,000	5,723	1,200
용인*	1,731	1,515	754	80	2,110	2,000	430	70
홍성	5,000	2,000	650	80	10,000~ 12,000	4,500~ 6,000	4,500	130

주) 월평균 수질, * 연계처리시설, ** 고도처리 보강시설

(참고자료 : 1) 환경부 1998. 2) 실제조사자료)

다음의 Table 2-17. 은 축산폐수처리시설의 슬러지 발생 및 처리현황을 나타낸 것이다. 일부 처리장의 처리현황이 통계에 잡히지 않았기 때문에 정확한 처리량의 산출에는 한계가 있겠지만 가동중인 37개소의 처리시설의 시설용량은 $9,425\text{m}^3/\text{년}$ 이며 연간 51,032톤/년 이상의 슬러지가 발생하고 있다. 슬러지 처분의 방법으로는 퇴비등으로의 재활용, 매립, 소각, 해양투기등이 있는데 재활용되는부분이 38,247톤/년으로 가장 많고 다음은 매립 4,112톤/년, 소각 598톤/년 그리고 해양투기 420톤/년의 순이다. 슬러지 발생량은 전라북도에서 18,774톤/년으로 가장 많으며 다음은 경상남도 8,764.3톤/년, 경기도 7,810톤/년의 순으로 발생하고 있다. 지역별 축산처리장에서의 발생현황을 보면 전북 익산시 왕궁축산폐수공공처리시설에서 7,252톤/년으로 가장 많은 양이 발생하고 있으며 다음은 경남 밀양시 축산폐수공공처리시설 4,745톤/년, 경기도 파주시 축산폐수공공처리시설 3,329톤/년, 충남 공주시 축산폐수공공처리시설 3,052톤/년 그리고 전북 김제시 축산폐수공공처리시설 2,899톤/년의 순이다.

Table 2-17. 축산폐수 공공처리시설 슬러지 발생 및 처리현황

(단위 : 톤/년)

지역	처리장 (시설용량 m ³ /일)	슬러지발 생량	처분량				미처분량
			재활용 (퇴비등)	매립	소각	기타	
계	37개소 (9,425)	51,032	38,247	4,112	598	8,014	61
서울특별시	-						
부산광역시	-						
대구광역시	-						
인천광역시	-						
광주광역시	-						
대전광역시	-						
울산광역시	-						
경기도	8 (2,270)	7,810.6	5,996	789	597.6	428	
강원도	3 (650)	1,944	1,165	779			
충청북도	3 (500)	2,048	1,070			978	
충청남도	5 (1,050)	6,586	6,531				55
전라북도	8 (3,940)	18,744	12,136			6,608	
전라남도	3 (255)	2,273	123	2,144			6
경상북도	2 (180)	2,862	2,862				
경상남도	5 (580)	8,764.3	8,364.3	400			
제주도	-						

3. 비료수급현황

다음의 Table 2-18. 은 '80 ~ '98의 기간동안 비료의 생산량 및 소비량을 나타낸 것이다. 성분별로는 질소, 인산, 가리로 대별되는데 질소의 생산량은 '96 974천톤을 정점으로 '97 이후 감소추세를 보이고 있다. 인산은 '85에 499천톤이 생산된 것을 정점으로 '00에 이르러서는 422천톤으로 생산량이 감소되었고 가리는 '80에 125천톤이 생산되었으나 '95에 343천톤으로 정점에 이른 후 '00에는 289천톤이 생산되었다. 성분별 소비량을 보면 질소는 '90에 562천톤으로 정점에 도달한 이후 일정한 소비 추세를 보이고 있다. 인산은 '90의 256천톤 소비이래 조금씩 소비량이 감소하는 경향을 보이고 있고 가리는 '90의 286천톤을 소비한 이후 인산과 마찬가지로 소비량이 점차 감소하고 있다. 전체적으로 보면 '90년대에 들어서 질소, 인산, 가리의 생산량 및 소비량이 점차로 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 과도한 비료의 소비로 인한 토양오염을 저감하려는 정부 및 농민의 노력이 어느 정도 반영된 결과라고 사료된다.

Table 2-18. 비료 생산량 및 소비량

(단위 : 천톤)

구분	비료총량		질소		인산		가리	
	생산	소비	생산	소비	생산	소비	생산	소비
1980	1,345	828	727	448	493	196	125	184
1985	1,398	807	654	414	499	186	245	207
1990	1,648	1,104	867	562	454	256	327	286
1995	1,778	954	950	472	485	223	343	259
1996	1,763	908	974	456	460	209	328	243
1997	1,687	882	923	446	450	199	314	237
1998	1,517	860	823	447	421	187	273	226
1999	1,535	842	850	444	422	179	263	219
2000	1,546	801	835	423	422	171	289	207

다음의 Fig. 2-1. 은 '80 ~ '98의 기간동안 성분별 비료생산량을 Fig. 2-2. 는 성분별 비료소비량을 나타낸 것이다.

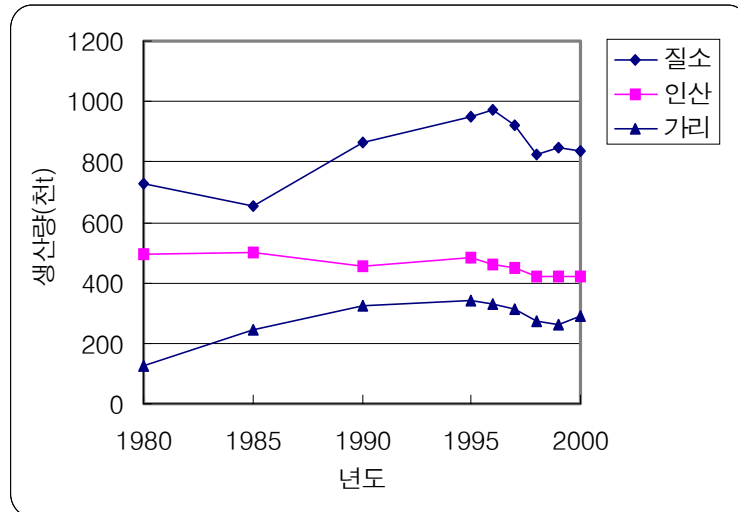


Fig. 2-1. 비료성분별 비료생산량(자료 : 농림부)

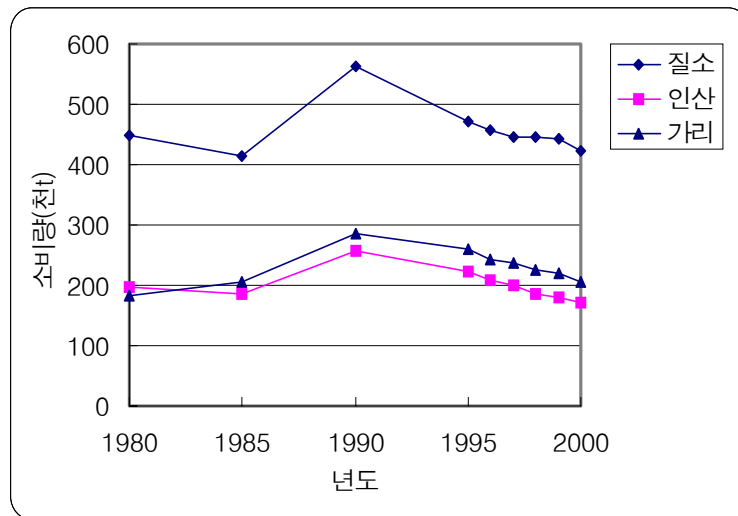


Fig. 2-2. 비료성분별 비료소비량(자료 : 농림부)

비료종별로 볼 때 복합비료(complex fertilizer)의 생산량과 소비량이 다른 종보다

월등히 높음을 알 수 있고 다음은 요소(urea), 유안(ammonium sulfate)의 순서이었다. 복합비료의 생산량은 '95에 2,684천톤이 생산되어 가장 많았고 소비량은 '90에 1,594천톤으로 정점에 도달하였으며 이후 생산량과 소비량 모두 감소추세를 보이고 있다. 다음의 Fig. 2-3. 은 비료종별 비료생산량을 나타낸 것이고 Fig. 2-4. 는 비료종별 비료소비량을 나타낸 것이다.

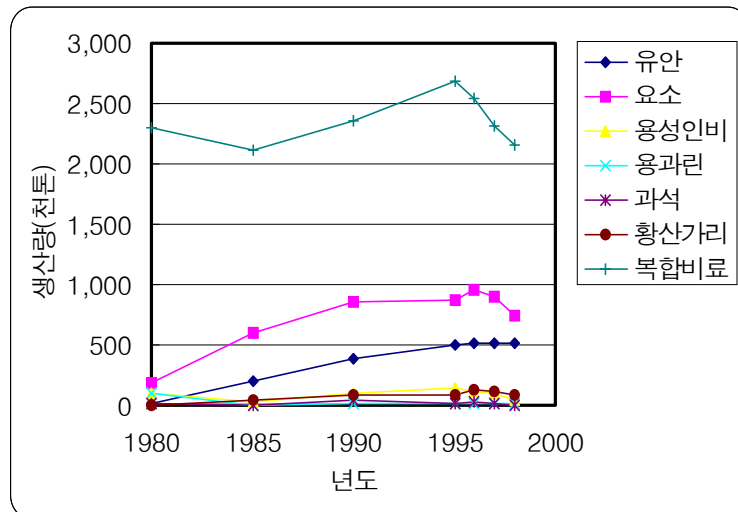


Fig. 2-3. 비료종별 비료생산량(자료 : 농림부)

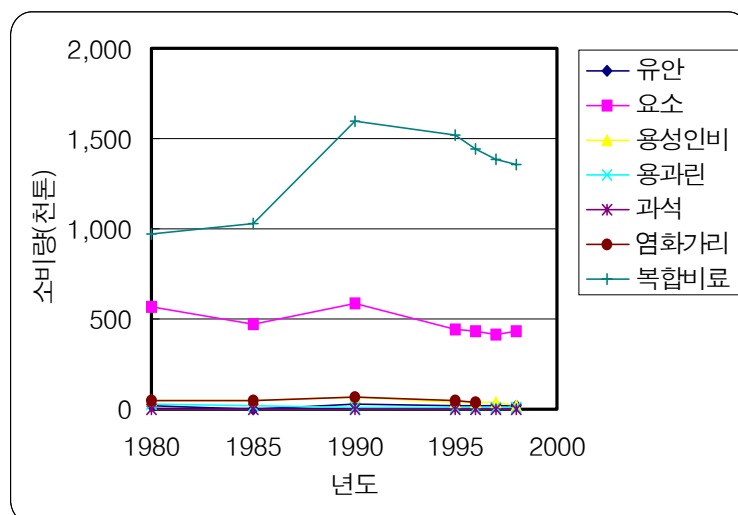


Fig. 2-4. 비료종별 비료소비량(자료 : 농림부)

제2절 국내·외 축산폐수분야 기술개발현황

1. 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

가. 국내 현황

1) 축산폐수 관련기술

- 1988. 6. 축산폐수처리시설 표준화(6개처리기술)

액비화, 매립처분, 퇴비화, 토양침투, 살수여상, 산화구법

- 1992. 7. 축산폐수처리시설 2차 표준화

톱밥발효축사, 건조식 톱밥발효시설, 통풍식 및 교반식 톱밥발효시설

- 1995. 11. 환경부에서 9개 축산폐수정화시설에 대한 표준설계도 작성제시(기존시설의 보완 및 신설)

- 산화구법
- 회분식활성오니법
- 톱밥토양여과시설
- 저장액비화법
- 톱밥발효돈사
- 톱밥발효우사
- 건조식톱밥발효시설
- 통풍식톱밥발효시설
- 교반식톱밥발효시설

2) 국내축산폐수처리시설 설치 현황

- 축산분뇨처리시설 총 설치대상농가는 79,092개소로서 처리시설 설치비율은 64.8%, 미설치 농가는 28,469개소로 조사.

- 처리시설로서는 간이정화조설가 가장 많았으며 그 다음이 기타 처리방식, 퇴비화, 저장액비의 순으로 나타났음. 과거와 비교해볼 때 전반적으로 분뇨처리시설중 퇴비화와 톱밥축사가 증가하였으며 간이정화조는 감소하는 추세를 보이고 있음.

- 1991년부터 국고지원사업으로 축산폐수처리시설 설치사업을 추진하여 1994년말 현재 이천시, 김해시, 안동시에 3개의 시설이 설치 가동중이며 설계중이거나 공사중인 시설은 37개소로서 1997년까지 총 83개소를 설치할 계획임.

3) 축분의 퇴비화

- 축종 구분없이 평균 50.3%, 자연소모 및 자가이용비율이 50%
- 축종별 퇴비화율은 한우사육농가 45.5%, 젖소사육농가 2.5%, 양돈농가, 73.3%, 양계농가 80%이었으며 규제대상 규모미만인 경우 대부분이 농지환원으로서 재활용비율은 점차 증가추세에 있음.
- 퇴비화를 제외한 축산폐수의 처리는 크게 화학적처리와 생물학적처리로 구분하며 생물학적처리로는 호기성처리와 혐기성처리로 분류되고 이들 방법이 단독 또는 혼합처리로 적용되고 있으며 이를 보완하기 위하여 용존산소를 높이기 위한 폭기식 또는 순산소 방법이 병용되고 있음.

4) 문제점

- 축산폐수는 발생량에 비하여 오염부하량이 매우 큰 폐수로서 미처리시 하천의 수질 악화와 호소의 부영양화를 초래하며 악취 및 해충피해등으로 쾌적한 생활환경을 해치는 주요 오염원의 하나로 인식되고 있음.
- 분뇨에 포함된 병원성미생물에 의한 지하수의 오염이 우려됨.

나. 국외 현황

- 축산폐수의 처리와 관련하여 크게 두부분으로 나누어 고려해 볼 수 있음. 우선 발생원제한으로 외국에서는 이와 관련하여 출산율의 제한 및 규제를 실시하고 있음.

- EC지역

공통적으로 적용되는 축산분뇨와 관련한 환경보전 규정과 실행상의 특징

- 축산분뇨관련 EC 이사회 지침('92)

물의 질상염 농도가 50ppm 이상이 될 위험이 있는 지역, 가축사육두수가 1ha당 젖소 2두, 육우 4두, 번식돈 5두, 비육돈 16두, 산란계 133수로 제한하는 조치를

취할 것을 지시.

- 토지면적당 가축사육두수 허가제(초과 사육시 별도의 허가과 불이익이 돌아감)
- 토양환원을 원칙으로 함.
- 환경오염방지 초기단계에는 수질보전이 주대상이었으나 최근에는 휘산질소에 의한 공기오염방지 추가

- 일본

- 축산폐수 규제에 직접관계가 있는 법률은 수질오염방지법과 호소수질본질특별조치법으로서 이들 법률에 따라 일정규모이상의 축사에 대해서는 축사의 구조, 사용방법, 오수처리방법등 신고의 의무화와 배수의 농도규제를 실시하고 있음.
- 발생후 처리는 현재 화학적·생물학적처리에 의존하고 있는바 안정적인 처리를 위해서는 고농도의 경우 3~4배의 희석이 요구되고 또한 체류시간의 증가와 이에 따른 소요부지면적이 늘어나는 특성으로 경제성이 없을 것으로 보여짐.

- 원폐수를 희석하지 않고 직접 처리할 수 있는 부유법등 신기술의 개발이 요구됨

- 부유법은 폐수속의 현탁물질을 물리·화학적 방법으로 부유분리하는 청정화공법
- 외국에서는 1950년대 스웨덴에서 기술이 개발되어 현재까지 계속발전해오고 있으며 우리나라에서는 가압부상시스템의 필수단위공정으로 적용되고 있음.

2. 축산폐수처리기술

다음의 Table 2-19. 에서 축산폐수 처리시설의 분류에 관한 사항을 나타내었다. 축산폐수 공공처리시설에서는 호기성소화법, 혐기성소화법, 고효율산화법, 액상부식법등이 적용되고 있으며 자원화시설에는 퇴비화법, 저장액비법, 톱밥발효법, 토지환원법이 정화시설에는 활성오니법, 장기폭기법, 살수여상법, 톱밥토양여과법, 산화구법등이 있다.

다음의 Table 2-20. 에서 축산폐수처리공법을 비교하여 나타내었다. 축산폐수 공공처리시설에서 널리 적용되는 일반적인 공법으로 호기성소화법과 혐기성소화법이 있는데 호기성 처리법은 대규모시설에 적합하며 오랫동안 적용되어 왔으므로 처리기술의 신뢰성이 있으나 고농도 축산폐수를 처리하여 수질기준을 만족하는데 어려움이 있으며 부가적인 처리공법을 요한다. 혐기성소화법은 축산분뇨를 혐기성미생물에 의하여 처리하는 공법으로서 운전시 슬러지발생량이 작고 원수의 농도부하 변동에 강하지만

악취가 발생하고 동력비가 많이 드는 단점이 있다. 호기성소화법은 호기성산화균을 이용 장시간 포기하여 분해처리하는 공법으로 혐기성소화보다 작은 용량의 운전이 가능하지만 슬러지발생량이 많고 탈수성이 저조한 단점이 있다. 액상부식법은 호기성소화법의 단점을 보완한 공법으로 시설규모가 작고 탈수성이 양호하며 질소·인제거가 우수한 반면 전력비, 약품비등 유지관리비가 많이 소요된다. 산화구법은 산화구에서 순환되는 오수를 포기장치로 호기성처리하는 공법으로 소규모시설에 적합하며 유지관리가 용이하나 외부 환경영향을 많이 받으며 악취가 발생하는 단점이 있다. 자연정화법은 정화능력이 뛰어난 토양균의 정화작용을 활용하는 공법이며 비마법은 부유성장식 혐기성소화법으로 고농도폐수처리에 적합하지만 질소·인을 처리하기 위한 후속처리가 필요하다. 자원화시설의 톱밥발효법은 톱밥과 분뇨를 동시에 발효처리하는 공법으로 양질의 비료를 생산하고 위생적 축사관리가 가능하지만 안정적인 톱밥의 공급문제와 퇴비의 숙성이 불완전할 경우 문제의 발생 소지가 있다. 퇴비화법은 축분을 호기성처리하여 유용한 토양개량제를 만드는 공법으로 취급이 용이하며 안정성 있는 퇴비공급이 가능하다. 저장액비법은 축산폐수를 액상과 고상물질로 분리하여 생물학적처리공법으로 운전이 간편하고 시설비가 저렴하지만 시비할 경지의 확보가 해결되어야 할 사항이다. 정화시설의 살수여상법은 여재표면에 부착된 미생물막에 의한 정화처리공법으로 유지관리가 용이하지만 생물막탈락에 의한 수질악화와 막힘현상의 발생가능성이 있다. 토양침투법은 토양중의 미생물을 이용한 처리공법으로 운전이 간편하지만 처리를 위한 적당한 부지확보가 선행되어야 한다. 본 연구시설의 부유흡착법은 부유·흡착공정을 통한 축산폐수를 처리하는 공법으로 원폐수의 직접 안정적인 처리가 가능하지만 운전경비가 비교적 과다한 공정이다.

Table 2-19. 축산폐수 처리시설의 분류

분류	처리방법	비고
자원화시설	퇴비화법, 저장액비법, 톱밥발효법, 토지환원법	
정화시설	활성오니법, 장기폭기법, 살수여상법, 톱밥토양여과법, 산화구법	
공공처리시설 적용방법	호기성소화법, 혐기성소화법, 고효율산화법, 액상부식법, P.I.D. 산화구법, 비마법, 자연정화법, SBR, 바이오세라믹	

Table 2-20. 축산폐수처리공법의 비교

분류		특징	장점	단점
공공처리 시설	활성오니법	· 국내에서 널리 적용되는 공법	· 대규모시설에적합 · 처리기술의신뢰성	· 수질기준만족곤란 · 부가적 처리필요
	혐기성소화법	· 축산분뇨를 혐기성미생물에 의하여 처리	· 슬러지발생량이 적음 · 부하변동에 강함	· 악취발생 · 동력비가 많음
	액상부식법	· 호기성소화법의 단점을 보완한 공법	· 시설규모가작고 탈수성 양호 · 질소·인 제거가 우수함	· 전력비, 약품비등 유지관리비가 많이 소요
	호기성소화법	· 호기성 산화균을 이용 장시간 포기하여 분해처리	· 외부환경영향을 작게 받음 · 혐기성소화보다 작은 용량운전가능	· 운전경비과다 · 혐기성소화보다 슬러지발생량이 많고 탈수성이 저조
	산화구법	· 산화구에서 순환되는 오수를 포기장치로 호기성처리	· 소규모시설에 적합 · 유지관리가 용이	· 외부환경영향을 많이 받음 · 악취발생
	자연정화법	· 정화능력이 뛰어난 토양군의 정화작용을 활용	· 토양군의 탈취특성 양호 · 슬러지의 안정화	· 외국특허기술
	비마법	· 부유성장식 혐기성 소화법	· 고농도폐수처리에 적합	· 질소·인을 처리하기 위한 후속처리 필요
자원화시설	톱밥발효법	· 톱밥과 분뇨를 동시에 발효처리	· 양질의 비료생산 · 위생적 축사관리	· 톱밥의 안정 공급 · 퇴비의 미완숙
	퇴비화법	· 축분을 호기성처리하여 유용한 토양개량제를 만듦	· 안정성 있는 퇴비 공급 가능 · 취급의 용이성	· 첨가된 수분조절제의 분해속도 · 퇴비화과정의 악취발생문제
	저장액비법	· 축산폐수를 액상과 고상물질로 분리하여 생물학적처리	· 운전이 간편 · 시설비가 저렴함	· 악취발생 · 시비할 경지확보
정화시설	살수여상법	· 여재표면에 부착된 미생물막에 의한 정화처리	· 유지관리가 용이 · 발생슬러지가 적음	· 생물막탈락에 의한 수질악화 · 막힘현상 발생
	토양침투법	· 토양중의 미생물을 이용한 처리	· 운전이 간편	· 처리를 위한 적당한 부지확보가 선행
본연구시설	부유·흡착법	· 부유·흡착공정을 통한 축산폐수 처리	· 원폐수의 직접처리가 가능 · 안정적처리가 가능	· 타공법비교시 운전경비가 큰편임 (Perlite 부산물의 판매로 상쇄가능)

가. 퇴비화법

퇴비화는 가축분뇨등의 유기성폐기물을 호기성조건등의 제한된 조건에서 생물학적 처리를 함으로써 농지 환원에 적당한 유용한 토양개량제로 바꾸는 것이다. 퇴비화의 목적은 악취의 저감과 수분조절이 가능하며 병원균을 사멸하고 생육에 지장이 있는 물질을 분해하여 안전하게 시비할 수 있게 하는 것이다. 퇴비화의 영향인자는 산소 5%이상, 영양원(C/N 비 - 20 : 1 ~ 40 : 1), 미생물(bacteria, fungi, actinomycetes 등), 수분(40~60%), pH(5.5 ~ 9), 반응온도(43℃ ~ 66℃), 퇴비입자의 크기(0.3cm ~ 1.3cm), 반응시간(퇴비의 사용목적에 따라 달라질 수 있음)등인데 이중 미생물이 중요하며 호기성미생물의 활동을 활발하게 하기 위한 환경조건이 필요하다.

퇴비화는 가축분뇨를 혼합하여 더미를 만들고 공기를 주입하게되면 시작되는데 시간이 경과함에 따라 호기성 조건이 혐기성조건으로 변하게 되므로 일정량의 공기를 지속적으로 공급할 필요가 있으며 부수기간중 더미의 뒤집기를 함으로서 공극을 만들어 공기공급이 원활하도록 할수도 있다. 온도는 50℃~60℃로 일정기간 유지되며 이때 병원균등이 사멸되고 온도가 낮아져 주변의 온도와 같아지면 퇴비화는 종료되는것인데 더미의 뒤집기나 공기의 강제통기는 온도의 과도한 상승을 억제하는 효과가 있다. 퇴비화 과정은 영양분이 최종 소비될 때까지 계속되는 것이지만 C/N비, 온도, 냄새등의 지표를 활용할 경우 사용시기의 조절이 가능하다. 상업용 퇴비화의 주요공정은 원료의 전처리, 퇴비의 분해 및 안정화, 퇴비의 건조, 저장 및 퇴비 품질관리등이다.

퇴비화의 장점은 농작물에 대한 영양분의 공급원으로 활용, 직접 시비시 유기물의 급격한 분해로 인하여 발생 가능한 유해가스를 사전 제거, 유해 병원균이나 잡초의 씨앗을 사멸, 토양의 물리성 개선, 혐오감의 감소 및 취급의 용이성등이다. 축산분뇨퇴비화의 문제점으로는 퇴비화처리에 수분조절제로 첨가된 톱밥등의 분해속도가 느리기 때문에 시비후 작물성장에 장애를 줄 수 있으며 퇴비화과정에서 배출되는 악취는 또 다른 2차 환경오염원으로서 대두될수 있다. 수분조절제로 사용되는 톱밥등의 재료가 비교적 고가이므로 비용 소요가 많고 축산농가의 시설관리기술이 다소 부족하여 축산분뇨자원화시설이 조기노후화되어 가동이 중단되는등 관리상의 부실이 발생할 요인도 있다. 한편 축산퇴비의 품질이 균일하지 못한 불량품이 생산될 가능성이 있으므로 철저한 관리감독 이 요구되며 축분퇴비의 생산농가와 재배농가간의 지속적인 연계이용의 확대를 추진할 필요성이 있다.

나. 저장액비화법

액비화법은 축산폐수를 액상물질과 고상물질로 분리 후 생물학적처리를 하여 고형분은 고형퇴비화처리를 하고 액상성분은 축사에서 발생하는 세정수등과 함께 처리를 하여 액상퇴비로 이용하는 방법이다. 처리방법으로는 혐기성처리방법과 호기성처리방법이 있는데 비료효과의 개선과 악취제거를 위하여 호기성처리방법이 많이 사용된다. 액비화의 영향인자는 분해속도, 반응온도, pH, 산소량, C/N비등이다. 슬러리를 액비화 처리하면 초기에는 분해율이 빠르며 최종적인 유기물 분해율은 30%정도가된다. 고형분의 퇴비화과정에서는 약 60℃정도의 온도를 유지하였으나 액비화 과정에서는 수중펌프의 모터열등으로 인하여 약 25℃정도의 수중온도가 유지되며 pH는 반응초기 산생성균등에 의하여 약간 저하하나 2 ~ 3일 경과시 8이상인 된다. 호기성처리방법의 경우 액상분뇨중에 용존산소가 부족하여 폭기를 하여 산소를 공급할 필요가 있고 C/N비는 20정도가 적당하다.

액비화법의 주요공정은 배출시스템, 액화조정시스템, 폭기시스템, 저류시스템, 운반시스템 및 환원이용시스템으로 구성되어있다. 배출시스템으로는 반크리너, 스크레퍼, 자연유하구 및 강제유하구등이 있는데 이중 반크리너식 배출방식이 많이 이용되며 스크레퍼식은 대규모 축산농가에서의 이용이 늘고 있다. 액화조정시스템은 축산폐수의 안정적인 처리 및 관로를 통한 폐수의 운반이 용이하도록 하기위하여 깔집분리와 잡물제거 및 수질의 균질화를 달성하는 공정이다. 폭기시스템은 폐수에 용존산소를 공급함으로서 호기성미생물의 활동을 활발하게하여 유기물의 분해를 촉진하는 공정이며 저류시스템은 생산된 액비를 일정기간 저장하여 안정화를 목적으로 하는데 저류조의 용량은 가축의 사육두수와 액비의 저장기간에 따라서 달라진다. 운반 및 이용시스템은 관로운반시스템, 탱크운반시스템 및 관로와 탱크의 병용시스템이 있으며 사용목적에 따라 알맞은 시스템을 적절히 선정하여 적용하면된다. 액비살포에 필요한 농경지의 면적을 다음 Table 2-21. 에 나타내었다.

Table 2-21. 액비살포에 필요한 농경지의 면적('99. 7. 8.)

(단위 : m³/두)

구분	종 전			개 정			대비
	초지	논	밭	초지	논	밭	
소(한우) · 말	1,240이상	2,360이상	1,530이상	520이상	990이상	640이상	42%
젖소				1,610이상	3,080이상	1,990이상	130%
돼지	470이상	900이상	580이상	340이상	640이상	420이상	72%

액비사용의 문제점으로는 축산농가의 경우 대부분 경지면적이 좁아서 액비살포면적이 부족하고 사용시기가 특정계절에 편중되어 있으며 생산농가와 액비사용 농가간에 액비사용확대를 위한 유통체계가 미흡한 점을 들 수 있다. 또한 액비의 장기저장시설 설치 및 운반차량과 살포장비의 확보가 곤란하며 액비는 부피가 크고 살포작업의 불편으로 인하여 이용농가의 관심이 저조하다. 경종농가에 대한 액비저장시설 설치비 및 장비구입비 지원을 위한 별도예산 확보의 필요성이 있으나 분뇨처리 의무가 없는 경종농가에는 축산분뇨처리시설사업으로 자금지원이 곤란하다. 미숙액비의 시비시 악취발생으로 인한 인근주민의 민원발생과 토양의 염류집적 및 지하수오염등에 의한 2차 오염문제를 유발할 수 있으므로 혐오시설로서 시설부지 확보에 애로사항이 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 Perlite 흡착 및 부유기술개발

1. 부유·흡착시스템에서의 유한요소해석법 적용

가. 부유·흡착시스템에서의 유한요소해석법 적용 개요

축산폐수처리를 위한 연속처리시스템을 구성하고 효율적인 처리를 위한 운전조건을 검토하였다. 본 연구에서 제작한 pilot plant의 Ejector 시스템이 장착된 가압부상반응조에서는 Ejector 시스템과 Burning 시스템에 의하여 가압 및 가온 분위기가 유지되어 Perlite와 돈분·뇨폐수의 혼합 및 부유·흡착·산화반응이 이루어지는데 이러한 메커니즘을 규명하기 위해서는 수치적으로 Ejector 시스템내의 유동현상을 해석해 볼 필요가 있었다. 본 연구에서는 부유흡착공정이 진행되는 부유흡착반응시스템에서 Ejector시스템의 Perlite Ejector와 산화 Ejector를 대상으로 유한요소법을 적용하여 돈분뇨의 유동특성을 분석하였다.

유체의 선형운동에 적용되는 베르누이방정식을 이용하여 벤츄리관, Ejector의 유체 유동현상을 수치해석적으로 접근해보면 정상유동에서의 다음 Bernoulli 방정식을 정리할 수 있으며

$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = C$$

이 방정식을 이용하여 도관내의 임의의 두지점간에는 아래와 같은 유체역학적 관계가 성립된다.

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2$$

이와 같은 Bernoulli 방정식은 정상유동, 비점성유동, 유선을 따르는 유동, 비압축성유동 조건이 부합될 경우에만 적용 가능하다. 수치해석 프로그램으로 시뮬레이션을 하게되면 시각적으로 내부현상을 파악할 수 있으며 수학적으로 근거한 결과이기에 신뢰성을 가지므로 Ejector 내부에서 진행되는 현상을 좀더 정확히 알 수 있고 다양한 조건에서의 반응결과를 예측할 수 있는 자료를 얻을 수 있다. 시뮬레이션을 위하여 기

본적인 유체의 특성으로서 유입 유체의 유속, 온도, 밀도, 압력등이 요구되며 결과는 이에 근거하여 유체의 흐름특성을 알 수 있다. Ejector는 Perlite 혼합용 Ejector, 산화용 Single Ejector, 산화용 Multi Ejector를 대상으로 하였다. 시뮬레이션은 운전조건을 (1) 운전압력이 1 ~ 6kg/cm²까지 일 경우에 각 Ejector 내부에서의 유체의 변화 (Perlite Ejector의 경우 유체의 온도 20℃, 산화 Ejector의 경우 유체의 온도 80℃) (2) 운전온도가 0 ~ 100℃ (유체의 유입압력은 3kg/cm²)일 경우 각 Ejector 내부에서의 유체의 변화를 나타내었다. 밀도와 점성계수등의 물성치는 돈분뇨를 대상으로 하여야 하나 계절적 요인으로 인하여 돈분뇨폐수의 농도가 묽어서 밀도등 물성치가 물과 유사하기에 점성계수는 Table 3-1.의 유체의 물리적 성질 자료를 편의상 이용하였다. Ejector 내부에서의 유동현상은 유사하게 나타날 것으로 예상하면서 계절에 따른 돈분뇨의 물리적 성질을 구하여 적용하고 시뮬레이션 결과를 확인하기 위해 파일럿플랜트 운전 결과를 분석·비교하였다.

Table 3-1. 유체의 물리적 성질

항목	돈 · 분뇨폐수	물		
온도 (℃)	밀도 (kg/m ³)	밀도 (kg/m ³)	점성계수 (kg/ms)	동점성계수 (kg/ms)
0	1005.1	999.9	1.792	1.792
10	1003.4	999.7	1.308	1.308
20	999.8	998.2	1.005	1.007
30	998.8	995.7	0.801	0.804
40	996.7	992.2	0.656	0.661
50	991.9	988.1	0.549	0.556
60	990.7	983.2	0.469	0.477
70	985.3	977.8	0.406	0.415
80	981.1	971.8	0.357	0.367
90	978.9	965.3	0.317	0.328
100	971.7	958.4	0.284	0.296

나. 부유·흡착시스템에서의 유한요소해석법 적용 결과

1) 시뮬레이션 대상 Ejector의 형상

Ejector는 구동유체의 힘으로 흡인력을 발생시키는 장치인데 간단한 구조로서 운전이 용이하며 고장요소가 없다는 것이 특징이다. 기존에 철강공업, 석유화학공업, 비료산업등에서 많이 사용해 왔으며 최근에는 수처리산업에서도 적용되고 있다. 본공정에서는 원수 유입시 Perlite와 원수의 혼합을 위해 그리고 고온가스와 돈분뇨원폐수의 반응을 촉진하기 위하여 두곳에 사용된다. Ejector의 원리는 1차원 이상유체의 흐름에서 압력수두, 속도수두, 위치수두의 합은 언제나 일정하고 그 값은 보존된다는 베르누이의 원리에 기초한다. 벤츄리관의 목부분에서는 유체의 속도는 증가하고 압력은 감소하게되는데 Ejector내부에서의 유체의 유동현상을 시뮬레이션을 통하여 보임으로서 Ejector 시스템과 Burning 시스템에 의한 Perlite와 돈분·뇨폐수의 혼합 및 흡착·산화반응의 메커니즘을 수치적으로 해석해 볼 수 있다. 다음 Fig. 3-1. 에 perlite-ejector의 형상을 나타내었다.

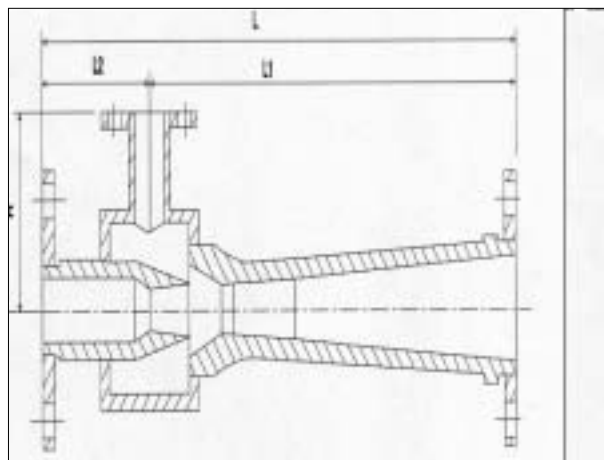


Fig. 3-1. perlite-ejector

다음 Fig. 3-2. 에 single-ejector의 형상을 Fig. 3-3. 에 multi-ejector의 형상을 나타내었다. 위에서부터 Perlite Mixing Ejector, Single Ejector, Multi Ejecter 이고 여기서 주요 목부위는 유동현상 비교를 위한 기준점으로 유체속도의 변화가 큰 곳이다.

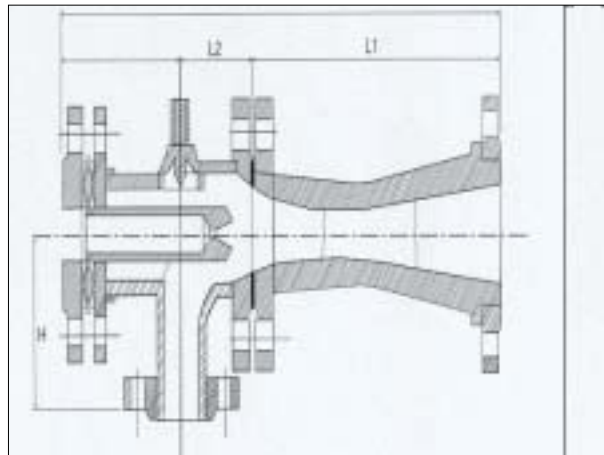


Fig. 3-2. single-ejector

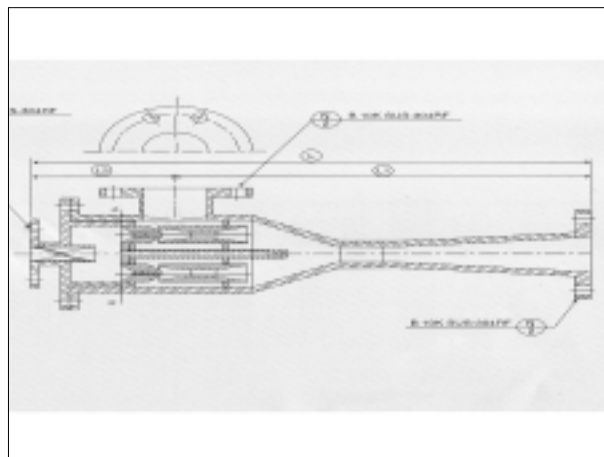


Fig. 3-3. multi-ejector

2) 운전압력에 따른 Ejector 내부에서의 유동현상 비교

다음 Fig. 3-4. 는 perlite 혼합용 ejector인 perlite-ejector에서 운전압력을 1kg/cm^2 - 6kg/cm^2 으로 변화를 줄 경우 운전압력에 대한 vector sum의 변화를 나타낸 것이다. 다음의 시뮬레이션 대상 Ejector에서 여기에 표시된 A, B, C, D, E, F는 유동현상 비교를 위한 기준점으로 유체속도의 변화가 큰 곳을 정한 것이다. 운전압력에 따른 Ejector 내부에서의 유동현상을 비교해보면 압력이 커질수록 유동속도가 증가하고 압력과 Vector Sum이 선형적인 관계를 가진다. 유동속도가 높을수록 Ejector의 혼합율이 증가하므로 고압의 운전에서 높은 처리효율을 얻을 수 있을 것으로 예상하며 실제 Pilot Plant 운전에서는 Perlite Ejector는 3.5kg/cm^2 이상 Single Ejector 및 Multi ejector는 2.5kg/cm^2 이상의 조건을 적용하고 있다.

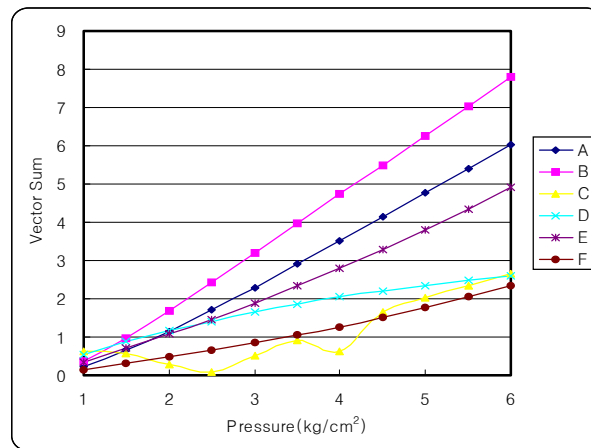


Fig. 3-4. perlite-ejector

다음 Fig. 3-5. 는 산화용 ejector인 single-ejector에서 Fig. 3-6. 은 multi-ejector에서 운전압력을 1kg/cm^2 - 6kg/cm^2 으로 변화를 줄 경우 운전압력에 대한 vector sum의 변화를 나타낸 것이다. 운전압력에 따른 Ejector 내부에서의 유동현상을 비교해보면 압력이 커질수록 유동속도가 증가하고 압력과 Vector Sum이 선형적인 관계를 가진다. 유동속도가 높을수록 Ejector의 혼합율이 증가하므로 고압의 운전에서 높은 처리효율을 얻을 수 있을 것으로 예상하며 single-ejector 장착한 Plant 운전에서는 B 지점에서 가장 큰 혼합율을 나타내며 multi-ejector 장착한 Plant 운전에서는 A 지점

에서 가장 큰 혼합율을 보였다. single-ejector와 multi-ejector의 vector sum의 수치를 비교해볼때 큰 차이를 보이고 있지는 않으나 여기서는 2차원으로 시뮬레이션을 한 관계로 multi-ejector의 경우에는 상사의 법칙을 적용할 경우 vector sum의 값이 3배로 커지기 때문에 효율이 우수할 것으로 예상할 수 있다.

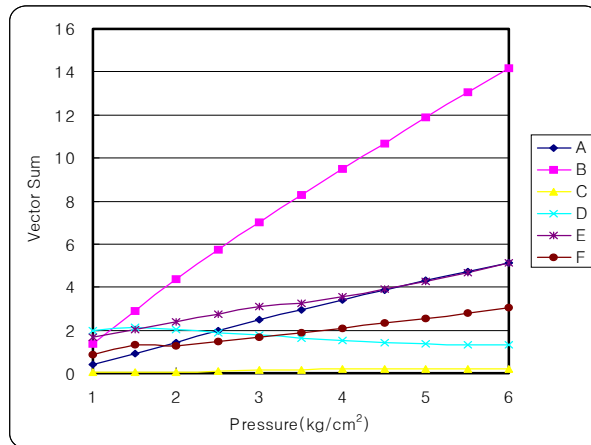


Fig. 3-5. single-ejector

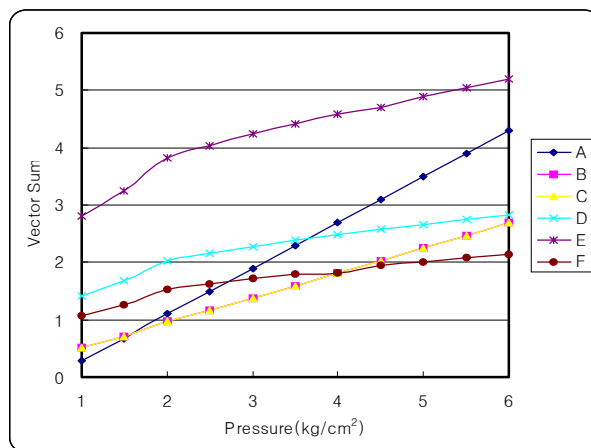


Fig. 3-6. multi-ejector

3) 운전온도에 따른 Ejector 내부에서의 유동현상 비교

다음 Fig. 3-7. 은 perlite 혼합용 ejector인 perlite-ejector에서 운전온도를 0℃ - 100℃ 로 변화를 줄 경우 운전온도에 대한 vector sum의 변화를 나타낸 것이다. 다음의 시뮬레이션 대상 Ejector에서 여기에 표시된 A, B, C, D, E, F는 유동현상 비교를 위한 기준점으로 유체속도의 변화가 큰 곳을 정한 것이다. 운전온도에 따른 Ejector 내부에서의 유동현상을 비교해보면 온도가 높아질수록 유동속도가 증가하고 압력과 Vector Sum이 선형적인 관계를 가진다. 유동속도가 높을수록 Ejector의 혼합율이 증가하므로 고온의 운전에서 높은 처리효율을 얻을 수 있을 것으로 예상하며 실제 Pilot Plant 운전에서는 원수를 열교환기를 통과시켜 투입하게 된다.

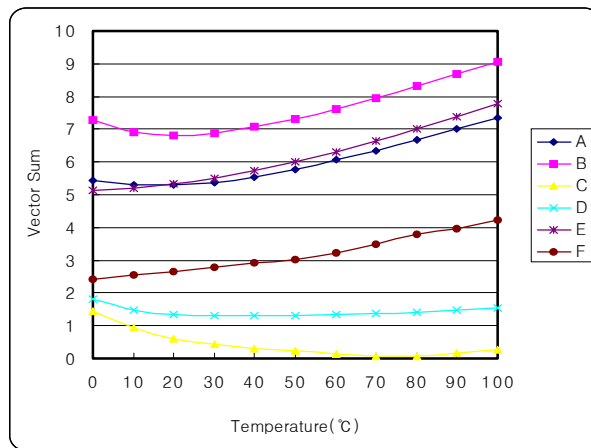


Fig. 3-7. perlite-ejector

다음 Fig. 3-8. 은 산화용 ejector인 single-ejector에서 Fig. 3-9. 는 multi-ejector에서 운전온도를 0℃ - 100℃로 변화를 줄 경우 운전온도에 대한 vector sum의 변화를 나타낸 것이다. 운전온도에 따른 Ejector 내부에서의 유동현상을 비교해보면 온도가 커질수록 유동속도가 증가하고 압력과 Vector Sum이 대체로 선형적인 관계를 가진다. 유동속도가 높을수록 Ejector의 혼합율이 증가하므로 고온의 운전에서 높은 처리효율을 얻을 수 있을 것으로 예상하며 single-ejector 장착한 Plant 운전에서는 B 지점에서 가장 큰 혼합율을 나타내며 multi-ejector 장착한 Plant 운전에서는 A 지점에서 가장 큰 혼합율을 보였다.

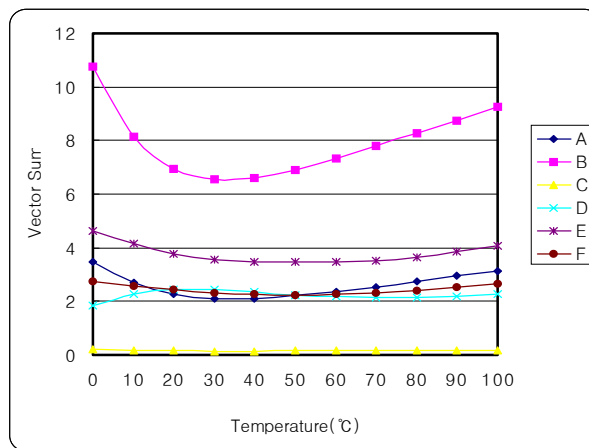


Fig. 3-8. single-ejector

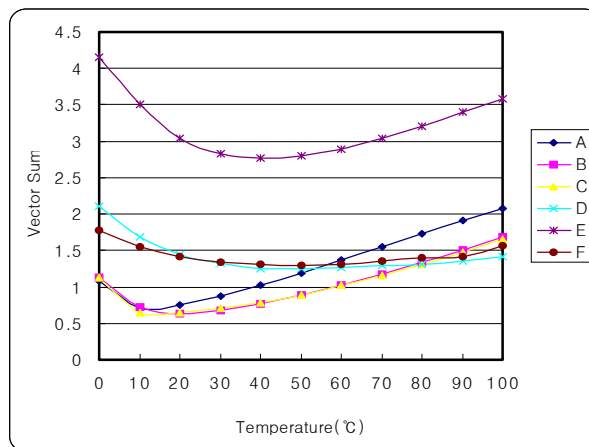


Fig. 3-9. multi-ejector

4) 압력차가 있을 경우 Ejector 내부에서의 유동현상 비교

다음 Fig. 3-10. 은 perlite 혼합용 ejector인 perlite-ejector에서 운전압력을 1kg/cm^2 으로 시뮬레이션 하였을 경우의 결과를 Fig. 3-11. 은 운전압력을 6kg/cm^2 으로 변화를 줄 경우 운전압력에 대한 vector sum의 변화를 시뮬레이션 Fig. 으로 나타낸 것이다. ejector 내부에서의 유동현상을 색으로 구별하였는데 청색은 작은 유체속도의 변화를 나타내고 적색으로 갈수록 큰 유체속도의 변화를 나타낸다. 다음의 시뮬레이션 대상 Ejector에서 직진성을 가진 유동이 목부분의 합류지점에서 가장 큰 유체속도의 변화가 있으며 운전압력에 따른 Ejector 내부에서의 유동현상을 비교해보면 압력이 1kg/cm^2 일 때 vector sum은 0.89 이었고 6kg/cm^2 에서는 vector sum이 8.0 이었는데 큰 압력으로 운전할 경우 유동속도가 증가함을 확인할 수 있다. 유동속도가 높을수록 Ejector의 혼합율이 증가하므로 고압의 운전에서 높은 처리효율을 얻을 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

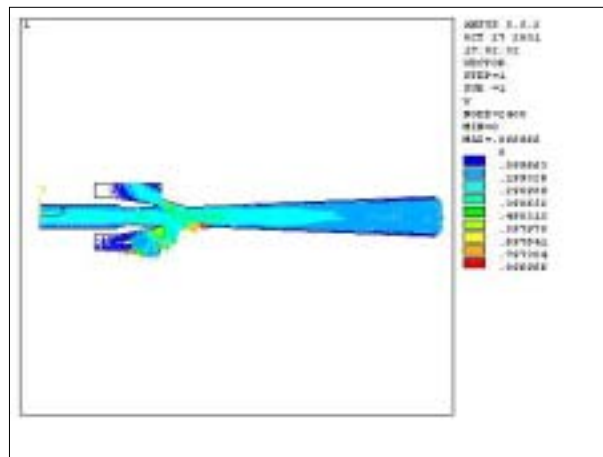


Fig. 3-10. perlite-ejector(P : 1kg/cm^2)

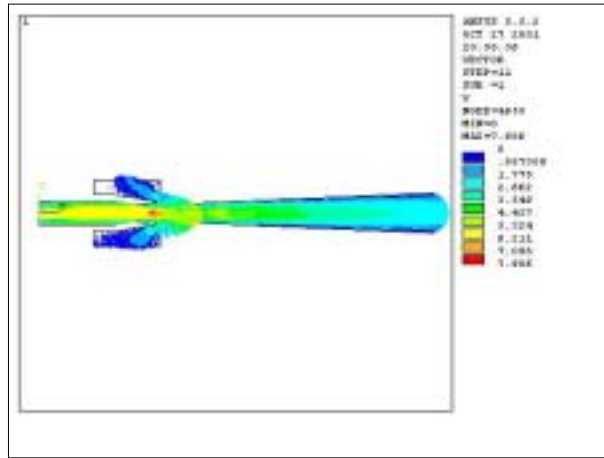


Fig. 3-11. perlite-ejector(P : 6kg/cm²)

다음 Fig. 3-12. 는 산화용 ejector인 perlite-ejector에서 운전압력을 1kg/cm² 으로 시뮬레이션 하였을 경우의 결과를 Fig. 3-13. 은 운전압력을 6kg/cm² 으로 변화를 줄 경우 운전압력에 대한 vector sum의 변화를 시뮬레이션 그림으로 나타낸 것이다. ejector 내부에서의 유동현상을 색으로 구별하였는데 청색은 작은 유체속도의 변화를 나타내고 적색으로 갈수록 큰 유체속도의 변화를 나타낸다. 다음의 시뮬레이션 대상 Ejector에서 직진성을 가진 돈분노의 흐름과 고온의 가스가 혼합되는 목부분의 합류 지점에서 가장 큰 유체속도의 변화가 있으며 운전압력에 따른 Ejector 내부에서의 유동현상을 비교해보면 압력이 1kg/cm² 일 때 최고의 vector sum이 2.6m/sec인 반면 운전압력을 6kg/cm² 으로 하였을 경우 vector sum은 16.1m/sec로 큰 압력으로 운전할 경우 유동속도가 증가함을 확인할 수 있다. 유동속도가 높을수록 Ejector의 혼합율이 증가하므로 고압의 운전에서 높은 처리효율을 얻을 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

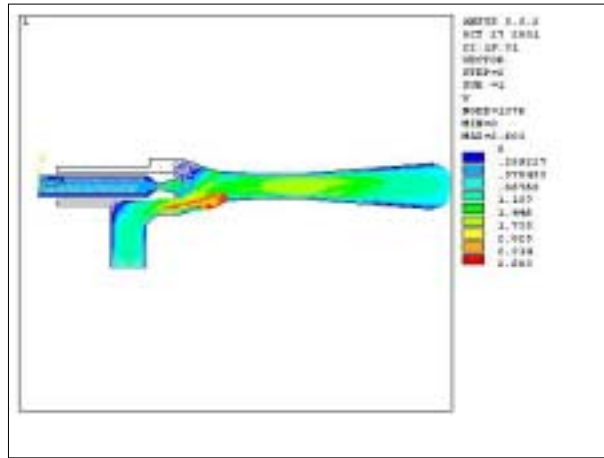


Fig. 3-12. single-ejector($P : 1 \text{ kg/cm}^2$)

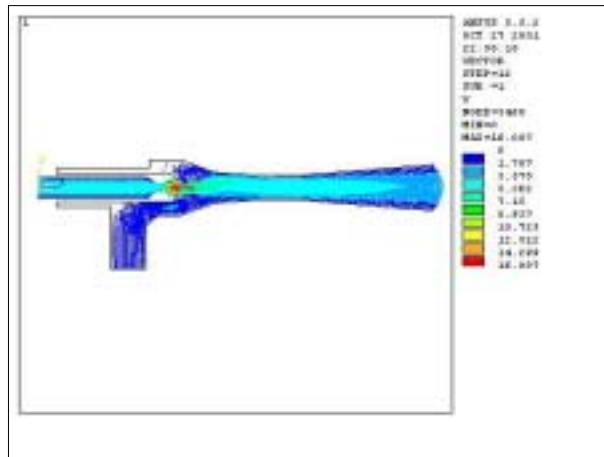


Fig. 3-13. single-ejector($P : 6 \text{ kg/cm}^2$)

다음 Fig. 3-14. 는 산화용 ejector인 multi-ejector에서 운전압력을 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 시뮬레이션 하였을 경우의 결과를 Fig. 3-15. 는 운전압력을 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 변화를 줄 경우 운전압력에 대한 vector sum의 변화를 시뮬레이션 그림으로 나타낸 것이다. ejector 내부에서의 유동현상을 색으로 구별하였는데 청색은 작은 유체속도의 변화를 나타내고 적색으로 갈수록 큰 유체속도의 변화를 나타낸다. 다음의 시뮬레이션 대상 Ejector에서 직진성을 가진 돈분뇨의 흐름과 고온의 가스가 혼합되는 목부분의 합류 지점에서 가장 큰 유체속도의 변화가 있으며 운전압력에 따른 Ejector 내부에서의 유동현상을 비교해보면 압력이 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 일 때 최고의 vector sum이 $2.5\text{m}/\text{sec}$ 인 반면 운전압력을 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 하였을 경우 vector sum은 $7.0\text{m}/\text{sec}$ 으로 큰 압력으로 운전할 경우 유동속도가 증가함을 확인할 수 있다. 유동속도가 높을수록 Ejector의 혼합율이 증가하므로 고압의 운전에서 높은 처리효율을 얻을 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

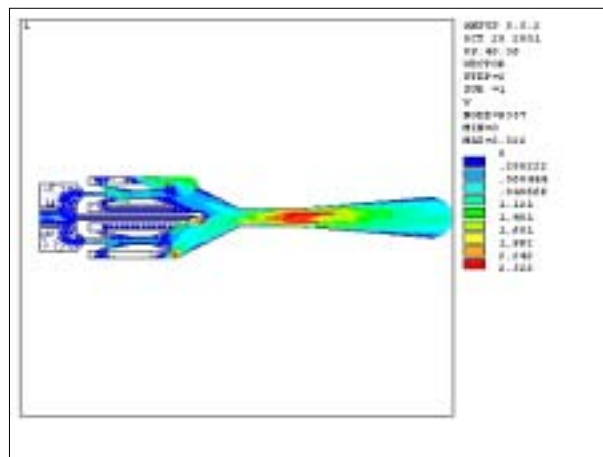


Fig. 3-14. multi-ejector(P : $1\text{kg}/\text{cm}^2$)

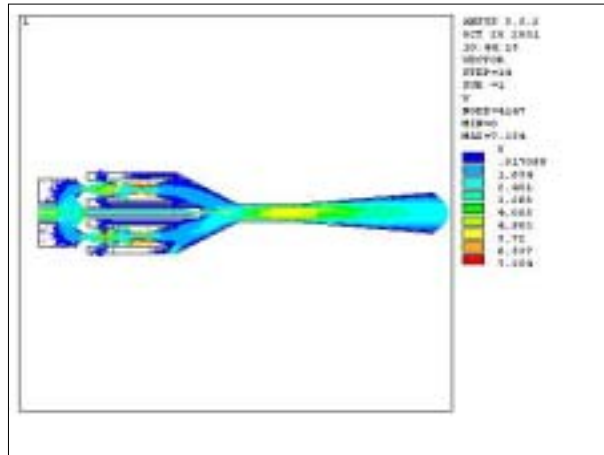


Fig. 3-15. multi-ejector($P : 6\text{kg/cm}^2$)

* P : Pressure

운전압력을 3kg/cm^2 으로 일정하게 유지하였을 Ejector 내부에서의 유동현상을 비교하였는데 Fig. 3-16. 은 perlite-ejector에서의 유동현상을 Fig. 3-17. 은 single-ejector에서 Fig. 3-18. 은 multi-ejector에서의 유동현상을 시뮬레이션하여 나타낸 것이다. Perlite와 돈분노페수의 혼합을 목적으로 하는 perlite-ejector는 throat에서의 최대 속도가 3.2m/sec 이었다. 고온산화를 목적으로 하는 single-ejector에서는 throat에서의 최대 속도가 7.0m/sec 이었고 multi-ejector에서는 4.3m/sec 로 나타났으나 multi-ejector는 6개의 작은 Ejector로 구성된 관계로 시뮬레이션을 입체적으로 고려해보면 multi-ejector에서의 운전효율이 더 우수할 것으로 예상할 수 있다.

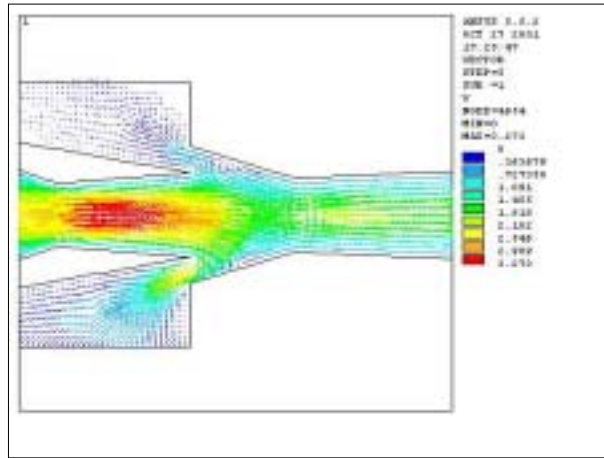


Fig. 3-16. perlite-ejector

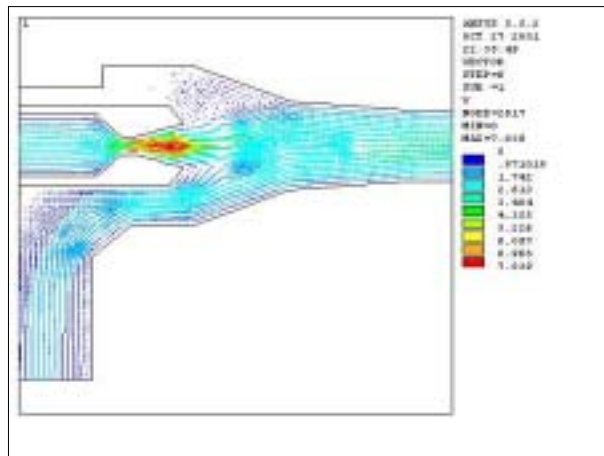
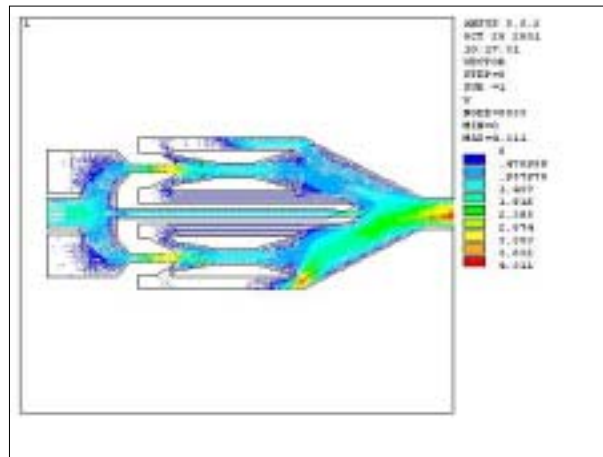


Fig. 3-17. single-ejector



2. Perlite

가. 흡착제

부유·흡착반응을 촉진하기 위해서는 반응조건과 함께 흡착제의 선정이 특히 중요하다. 흡착제를 선정하기 위해서는 축산폐수의 특성조사가 선행되어야 하며 부유제 종류별 흡착특성조사 및 부유제입자의 크기에 따른 흡착량의 검토가 필요하다.

Perlite의 원석은 화성암의 석영조면암의 일종이며 규산분이 많은 산성의 암석에 속하며 천연에서 산출되는 일종의 유리이다. Perlite는 원석을 분쇄하여 900 - 1,200℃로 급격하게 가열하면 원석에 함유되어 있는 수분이나 휘발성 성분이 폭발적으로 일산을 일으키기 때문에 내부 진공상의 다수의 기포를 가진 유리질의 입상체가 된다. 이때 팽창도는 원석에 따라서 다르지만 원석의 10 - 20배 정도이다. Perlite의 주요화학적 성분을 다음 Table 3-2. 에 나타내었는데 주성분은 SiO₂로서 75.5%를 차지하고 있으며 Al₂O₃, K₂O, Na₂O의 순으로 조성되어있다.

Table 3-2. Perlite와 Zeolite의 주요 화학적 구성 성분

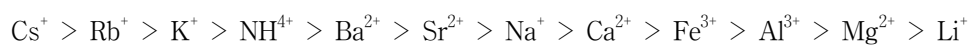
주요성분	Perlite		Zeolite(%)
	원석함유량(%)	가열석 함유량(%)	
SiO ₂	73.4	75.5	69.5
Al ₂ O ₃	12.3	15.3	15.8
K ₂ O	5.3	4.0	4.0
Na ₂ O	2.9	3.5	2.1
Fe ₂ O ₃	1.3	0.9	1.8
CaO	-	0.12	3.3
비중	0.04 - 0.2		2.0 - 2.3

● Perlite의 주요특성

- 경량성 : 단위용적중량 0.04 - 0.2kg/L (모래의 1/10 - 1/20)
- 내화성 : 1,200℃에서 용융하지 않음
- 중성 : pH = 7
- 내약품성 : 화학적으로 극히 안정함
- 흡음성 : 90%이상으로 흡음성이 좋음
- 흡수성 : 흡수성은 낮음 (흑요석의 경우 5 - 15%)
- 강도가 좋고 물에 용해되지 않음

Perlite는 토양개량제이외에 원예용으로 육묘, 조경, 골프장 및 구근의 포장등에 이용되고 있다. 공업용 용도로도 광범위하게 사용되고 있는데 절연용의 각종재료 그외 2차 가공품의 원료로 많이 이용되고 있다. 농원예용으로 Perlite를 사용할 경우의 특성은 보수력이 크며 수분 손실을 막고 뛰어난 통기성을 가지며 가볍고 물과 공기의 배분이 이상적이며 흙의 고결화를 방지하고 단열성이 있으며 비료의 효능을 높일 수 있는 점등이다.

Zeolite는 신생대 3기의 화산재가 속성작용을 받아 생성된 Allumino silicate 계의 광물로서 결정의 골격구조에 따라서 Analcime, Chabazite, Clinoptilolite, Erionite, Ferrierite, Modenite, Phillipsite로 분리되며 이온교환용량, 물리적강도, pH에 따른 화학적 안정성이 다르다. 천연 Zeolite의 이화학적성질은 다음 Table 3-3. 과 같다. Zeolite는 천연양이온교환수지로서 NH_4^+ 에 대한 선택성이 매우 크기 때문에 다른 양이온이 공존하는 상황에서도 NH_4^+ 의 제거가 가능하다. Ames에 의한 양이온 선택성은 다음과 같다.



Zeolite는 다공성 골격구조를 가진 점토광물로서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 에 대한 이온 선택성이 크기 때문에 토양개량제 및 고농도의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 을 함유한 축산폐수의 정화처리제로서 이용할 수 있다. Zeolite는 양분을 보유할 수 있는 능력이 크며 흡착보유한 양분을 토양용액중으로 서서히 공급하므로 Zeolite에 NH_4^+ 또는 K^+ 를 흡착시켜 퇴비로 사용하는 방안에 관한 연구도 있었다.

Table 3-3. 천연 Zeolite의 성질

Zeolite	Si/Al ratio	pH	Original Cation	Ion Exchange Selectivity
Analcime	2	~ 5	Na	complicated by ion sieving
Chabazite	1.4 ~ 2.8	~ 4	Ca, K	Ti>Cs>K>Ag>Rb>NH ₄ ⁺ >Pb>Na=Ba>Sr>Ca>Li
Clinoptilolite	2.7 ~ 5.3	< 2	Ca, Na, K	Cs>K>Sr=Ba>Na>Li>Pb>Ag>Cd~Zn>Cu>Na
Erionite	3 ~ 4	~ 3	Na, K	Cs>Sr>K>Na
Ferrierite	3.2 ~ 6.2	< 2	K, Mg	-
Modenite	4.4 ~ 5.5	< 2	Ca, Na	- Cs>K>NH ₄ ⁺ >Na>Ba>Li - NH ₄ ⁺ >Na>Mn>Cu>Co~Zn>Ni
Phillipsite	1.3 ~ 2.9	~ 4	K, Ca, Na	Ba>Rb~Cs~K>Na>>Ni

(참고자료 : Zeolite를 이용한 질소·인 동시제거 공정개발, 삼성건설기술연구소)

다음 Table 3-4. 에 Perlite와 Zeolite를 비교하여 나타내었다. Perlite원석은 화성암의 석영조면암의 일종으로 규산분이 많은 산성의 암석이며 900 - 1,200℃로 급격하게 가열하여 내부 진공상의 다수의 기포를 가진 유리질의 입상체로 제조한 것이다. 팽창도는 원석의 10 - 20배로 주성분은 SiO₂ 75.5%, Al₂O₃ 12.3%, K₂O 5.3%, Na₂O 2.9%로서 비중은 0.13-0.20정도이다. Zeolite원석은 신생대 3기의 화산재가 속성작용을 받아 생성된 Allumino silicate 계의 광물로서 응회암이 퇴적될 당시에 혼입된 공극수에 의해서 화학적으로 불안정한 화산유리질 물질이 속성과정중에 소위 "incongruent dissolution"되어 제올라이트가 생성된다는 것이 현재까지 밝혀진 제올라이트 광상의 생성 메카니즘이다. 결정의 골격구조에 따라서 이온교환용량, 물리적강도, 화학적 안정성등이 다르며 주요화학조성은 Na, K, Ca, Mg, Sr 또는 Ba을 양이온으로 소량 함유한 것등이다.

Perlite는 단위용적중량이 0.04 - 0.2kg/L로서 모래의 1/10 - 1/20이며 중성으로 내화성, 내약품성, 흡음성, 흡수성이 있으며 강도가 좋고 물에 용해되지 않는다. Zeolite는 단위용적중량이 2.0-2.3으로 공간 체적율은 최대 50%정도이며 양이온 교환능력은 100g당 200~400meq 정도로서 흡착 및 분자체 특성과 촉매 특성이 있다. Perlite는 농원예용, 산업용, 건축용으로 응용되며 Zeolite는 토질 및 수질 개량제, 환경개선용 기능성 소재, 방사성 폐기물 처리용 및 폐기물 매립 및 소각처리 과정에서의 유해성분의 제거에 사용된다.

이상의 내용을 검토해보면 Perlite와 Zeolite가 유사한 성질의 암석류로 보이나 위에서도 언급되었듯이 주요 차이점은 Perlite는 단위용적중량이 0.04 - 0.2kg/L이고 Zeolite는 단위용적중량이 2.0 - 2.3인 것이다. Perlite는 제조과정에서 900 - 1,200℃로 급격하게 가열하여 내부 진공상의 다수의 기포를 가진 유리질의 입상체이므로 Zeolite에 비하여 내부에 많은 공극을 갖게되는 것이다. 본 연구에서 Perlite를 흡착제로 선정하려는 이유는 고온산화공정에서 돈분뇨폐수와 Perlite가 흡착할 경우 보다 많은 흡착능을 제공할 수 있는 Perlite가 적당하다고 판단하기 때문이다.

Table. 3-4. Perlite와 Zeolite의 비교

구분	Perlite	Zeolite
주요성분	<ul style="list-style-type: none"> • Perlite원석은 화성암의 석영조면암의 일종이며 규산분이 많은 산성의 암석 • Perlite는 원석을 분쇄하여 900 - 1,200℃로 급격하게 가열하여 내부진공상의 다수의 기포를 가진 유리질의 입상체로 제조 • 팽창도는 원석의 10 - 20배 • Perlite의 주요성분 : 주성분은 SiO₂ 75.5%, Al₂O₃ 12.3%, K₂O 5.3%, Na₂O 2.9% • 비중은 0.04-0.20정도 	<ul style="list-style-type: none"> • Zeolite원석은 신생대 3기의 화산재가 속성작용을 받아 생성된 Al-lumino silicate 계의 광물 • 결정의 골격구조에 따라서 이온교환용량, 물리적강도, 화학적 안정성등이 다름 • Zeolite의 주요화학조성 : Na, K, Ca, Mg, Sr 또는 Ba을 양이온으로 소량 함유하는 함수규산염광물 • 비중은 2.0-2.3으로 공간 체적율은 최대 50%정도
주요특성	<ul style="list-style-type: none"> • 경량성 : 단위용적중량 0.04 - 0.2kg/L (모래의 1/10 - 1/20) • 내화성 : 1,200℃에서 용융하지 않음 • 중성 : pH = 7 • 내약품성 : 화학적으로 극히 안정함 • 흡음성 : 90%이상으로 흡음성이 좋음 • 흡수성 : 흡수성은 낮음 (흑요석의 경우 5 - 15%) • 강도가 좋고 물에 용해되지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> • 양이온 교환 특성 양이온 교환능력은 100g당 200~400meq 정도 • 흡착 및 분자체 특성 : 적합한 크기와 형태의 무기 및 유기분자들을 선택적으로 흡착 • 촉매 특성 : 높은 공간체적율로 인한 높은 표면활성을 가짐 • 탈수 및 재흡수 특성
주요용도	<ul style="list-style-type: none"> • 농원예용(토양개량제) • 산업용(단열내화용) • 건축용(단열콘크리트용) 	<ul style="list-style-type: none"> • 토질 및 수질 개량제로의 이용, • 환경개선용 기능성소재로의 응용 • 방사성 폐기물 처리, • 폐기물 매립 및 소각처리 과정에서의 유해성분의 제거

나. 흡착특성

흡착은 중요한 정화 및 분리공정으로서 폐수중의 유기성물질과 색도의 제거 및 대기중의 악취의 제거등에 널리 적용되는 단위공정이다. 기상 또는 액상의 물질이 다른 액상이나 고상과 접촉할 때 계면에 있어서 상내부와 다른 온도를 유지하고 평형이 되는 상태를 흡착이라하며 활성표면의 농도가 폐수보다 클때를 정흡착, 반대로 계면에서 농도의 감소를 일으키는 경우를 부흡착이라고한다. 흡착은 크게 물리적흡착과 화학적흡착으로 구분되는데 물리적흡착은 흡착한 분자가 고체표면에서 Van der waal's의 분자간의 인력에 의하여 느리게 결합하고 있는 것으로 반데바알스흡착이라고 하며 반데바알스의 분자간 인력은 주로 분산력에 의한다. 화학흡착은 흡착제 표면과 흡착 분자간에 화학반응이 생겨서 화학적인 결합력에 의해서 흡착하는 것으로서 화학결합력이 크면 비가역반응을 일으켜 탈착이 어려우며 반응속도는 온도의 상승에 따라 증가하는 것이 보통이다.

피흡착물질의 성질과 흡착능에 영향을 미치는 요인으로는 분자의 구조와 표면장력, 용해도, 이온화와 극성, 분자의 크기, pH, 농도 및 온도와 공존물질의 영향이 있다. 폐수중에 포함되어 있는 유기물의 흡착 정도를 일정온도에 있어서 흡착제와 피처리수를 접촉시켜 평형상태에 달할때의 액농도와 그때 흡착제에 흡착한 유기물의 관계를 플롯한 것을 흡착등온선이라고하며 Henry형, Freundlich형 및 Langmuir형이 있다.

● Henry형

- 저농도의 미량의 유기물의 흡착에 이용될 수 있음

$$q = HC$$

q : 흡착량, C : 평형농도, H : 정수

● Freundlich형

- 경험적으로 구하여진 실험식

$$X/M = k C^{1/n}$$

$$\log(X/M) = 1/n \log C + \log k$$

X : 흡착질의 질량

M : 흡착제의 질량

C : 흡착평형에 있어 용액의 잔존농도

X/M : 흡착제 단위 무게당 흡착된 피흡착제의 양

k, n : 상수

일반적으로 $1/n$ 이 0.1 ~ 0.5 이면 흡착이 용이하고 $1/n$ 이 2 이상이면 난흡착성임

계면활성제는 친수성과 소수성 부분으로 구성되며 물에서 용해되면 소수성부분은 물과 접촉을 피하는 경향이 있으며 유기용매에서 용해시에는 흡착력이 크게 저하된다. 계면활성제는 소수성방향의 흡착과 친수성방향의 흡착 두가지가 있으며 많은 경우 기체, 액체, 공기등의 흡착제의 상태에 의존하여 일어난다. 소수성부분에 의한 흡착은 친수성 부분이 양이온이나 음이온이나에 관계없이 탄화수소의 예에서는 탄화수소길이가 증대함에 따라 커진다. 친수성부분의 흡착은 친수성부분과 흡착제 사이의 어떤 내부에서의 흡착이 이루어졌을 때로서 대표적인 것은 정전기적 내부반응과 이온교환 메카니즘이다.

회수를 목적으로 사용될수도 있는데 폐수중의 유기성화합물, 생물학적 물질 및 광산에서의 귀금속의 회수등에 적용가능하다. 경제적인 흡착공정의 적용을 위해서는 폐수조건에 맞는 흡착제 및 반응조건의 선정이 필요하다. 효과적인 흡착을 위한 첫단계는 높은 선택성, 대용량, 긴수명을 갖는 흡착제의 선정이다. 흡착제의 선택성은 분리인자에 의하여 결정되며 평형특성 연구, 동역학적인 확산 특성, 분자 체분리에 의하여 결정된다. 평형특성 연구에서 흡착시스템은 시스템의 온도 및 조성등과 관련있으므로 높은 효율을 얻기 위해서는 선택이 필요하다.

동역학적 특성에서 선택성은 흡착질의 분자크기의 차이에 따라 결정되는 미세공 확산율에 의하여 측정된다. 흡착에서 고효율을 얻기 위해서는 공극이 잘 발달된 큰 표면적을 갖는 흡착제의 선정이 가장 중요하다. 폐수 및 폐가스 처리에 흡착공정을 적용함에 있어 흡착제의 표면화학 및 물리적 특성에 관한 이해가 필요한데 특히 다공성, 표면적 및 표면전하가 주요 고려대상이다. 이용 가능한 흡착제로는 활성탄, 알루미늄, 실리카, 키틴, 키토산, 이온교환수지등이 주로 사용되나 본 연구에서는 축산폐수의 부유·흡착공정에 perlite를 적용하고자 한다.

다. Perlite의 흡착반응에의 적용

실험에 사용한 Perlite는 미성산업에서 생산한 제품을 각각 사용하였다. Perlite는 제3기 이후의 화산암지대에서 생산되는 진주암, 흑요석 또는 유사한 암석을 여러 입도로 분쇄하여 급속가열 팽창시킨 것으로서 기밀성의 소기포로 구성되어 있고 순백색의 경량, 단열, 내화, 흡음, 결로방지등의 특성을 가진 재료이다. Perlite의 규격을 다음 Table 3-5. 에 나타내었다.

Table 3-5. Perlite의 규격

품명	규격	용도
SS-105	1.2-5.0mm	건축, 산업용 소재
SS-205	5.0mm이하	천연 유리질 암석인 진주암을 적당한 입도로 분쇄
SS-305	0.8-2.5mm	고온에서 급격히 가열 팽창시킨 무기질 입상 재료로서 경량 단열
SS-405	2.5mm 이하	내화, 흡음성이 우수한 건축, 산업용 소재
SS-505	0.3-1.0mm	농원예용, 건축 산업용 소재
SS-605	1.2mm이하	저온탱크, 콜드박스 보냉충전용

(자료 : 2002. 7. 물가정보지)

Perlite 유기물복합체의 탈수성 및 여과성은 유입 돈분뇨 원폐수의 고형물질 자체의 성질과 주입하는 Perlite 및 운전조건에 따라 다른 특성을 나타낸다. 탈수성의 지표로는 케이크 생성속도와 함수율이 있고 여과성의 지표로는 비저항계수를 사용하며 탈수특성의 영향인자로써는 슬러지의 pH, 고형물농도, 유기물함량, 셀룰로스 함량, 입자의 크기, 입자분포와 결합수등이 있다. 탈수케이크의 함수율에 영향을 미치는 인자는 슬러지의 점성으로 점성은 유기물함량과 슬러지 입자의 전하밀도특성에 의하여 영향을 받는다. 당해연도에는 유입 돈분뇨 원폐수와 Perlite 유기물복합체를 MAIN SCREEN의 MESH가 75 μ m 인 DSM 탈수기를 적용하여 축산폐수처리과정에서 조대고형물질을 제거하여 이후 공정에 대한 부하를 저감하고자 한다.

Perlite의 물리적 특성을 분석하기 위하여 다음의 분진크기시험기(Particle Size Analyzer), 다공성측정시험기(Mercury Porosimeters), 비표면적 시험기(Surface Area & Porosimeters)를 사용하였으며 perlite의 표면 다공성을 평가하기 위하여 SEM 분석을 실시하였다. 분석에 사용한 장비의 항목 및 특성을 다음에 정리하였다.

● 분진크기시험기(Particle Size Analyzer)

- 개요 : 건식 및 습식방법에 따른 다양한 분진입자의 크기분포를 측정
Fraunhofer 및 Mie Theory 적용
- 측정범위 : 0.04 - 2000 μm
- 측정항목 : 분진크기, 분진분포
- Model : LS 13320
- 제조사 : Beckman Coulter(U.S.A.)

● 다공성측정시험기(Mercury Porosimeters)

- 개요 : 수은을 공급하여 기공분포의 Pore 및 Void의 부피 및 분포특성 분석
- 측정범위 : 360 - 0.03 μm
- 측정항목 : Porosity, Pore Volume, Pore Shape Analysis등
- Model : Auto Pore IV 9500
- 제조사 : Micromeritics(U.S.A.)

● 비표면적 시험기(Surface Area & Porosimeters)

- 개요 : 기공물질에 의해 기체(N_2 , He)의 흡착량 및 탈착량을 정량화하여 기공물질의 비표면적 및 기공의 크기와 분포를 측정
- 측정항목 : Carbons, Zeolites, Silicas, Aluminas등
- Model : ASAP 2010 Analyzer
- 제조사 : Micromeritics(U.S.A.)

● SEM

- 개요 : 전자현미경에 의하여 기공물질의 기공의 크기와 분포를 측정
- 측정항목 : Carbons, Zeolites, Silicas
- Model : JSM-6400
- 제조사 : JEOL사

다공성 흡착제를 평가하는데 있어 주요한 인자는 기공크기, 기공율, 비표면적이라 할수 있다. 다공성 흡착제의 기공의 크기는 작게는 수 μm 에서 수백 μm 까지 다양하게 분포하는데 신뢰성 있는 분포곡선을 얻기 위해서는 기공의 크기를 측정하는 기술에 대한 신중한 고려가 있어야 한다. 본과제에서 사용한 Perlite의 기공크기는 그 크기가 일정하지 않고 매우 다양한데 측정범위가 0.04 - 2000 μm 인 분석장치를 사용하여 측정하였다. 다음 Table 3-6. 에 Perlite Particle Size를 측정한 결과를 나타내었다. Perlite는 크기별로 3 종류를 선정하였으며 A 타입은 평균 4,000 μm , B 타입은 평균 1,500 μm 그리고 C 타입은 73.45 μm 의 크기를 갖는 것으로 측정되었다. 실제 운전간에는 Ejector 노즐의 직경 크기를 고려해야 하기에 C 타입을 위주로 사용하였다.

Table 3-6. Perlite Particle Size

Sample	Mean size	Remark
Perlite A	4000 μm	150℃ 4hr Vacuum Dry
Perlite B	1500 μm	150℃ 4hr Vacuum Dry
Perlite C	73.45 μm	150℃ 4hr Vacuum Dry

기공율은 다공성 흡착제에 포함된 공극의 양을 나타내는 값으로 기공은 두가지로 나누어진다. 외부와 연결되어 물질의 이동이 가능한 것은 연속기공이라하고 외부와 물질이동이 불가능한 기공을 고립기공이라한다. 다공성 흡착제는 이러한 연속기공과 고립기공의 양적비율에 따라 성질이 좌우된다. 다공성측정시험기(Mercury Porosimeters)를 이용하여 Perlite의 기공율을 측정하였는데 그 결과를 다음 Table 3-7. 에 정리하였다. A 타입은 평균 72.2%, B 타입은 평균 68.3% 그리고 C 타입은 87.9%의 크기를 갖는 것으로 측정되었다. Mercury intrusion test 법을 이용함에 있어 분석간 수은의 주입압력은 0.5 ~ 51000psi 이었다.

Table 3-7. Perlite Porosity

시료명	시험결과	비고
A	72.2032%	Analysis pressure 0.5~ 51000psi
B	68.2951%	Analysis pressure 0.5~ 51000psi
C	87.9558%	Analysis pressure 0.5~ 51000psi

* : Mercury intrusion test 법 이용.

Fig. 3-19. 에 Perlite A 의 Porosity를 측정함에 있어 Pore Size(μm)에 대한 Cumulative Intrusion(mL/g)의 관계를 그래프로 정리하여 나타내었다. 그림에서는 Pore Size Diameter가 최초 $431\mu\text{m}$ 에서 시작하여 $0.0046\mu\text{m}$ 까지 수은 주입량의 누적분을 설명하고 있다. 이 Fig. 3-20. 에는 Perlite A의 Porosity를 측정함에 있어 Pore Size(μm)에 대한 Pressure(psia)의 관계를 그래프로 정리하여 나타내었다. 압력은 최초 0.5psia 로 가해지기 시작하여 49,892psia까지 가해졌을때 정점에 도달하였다.

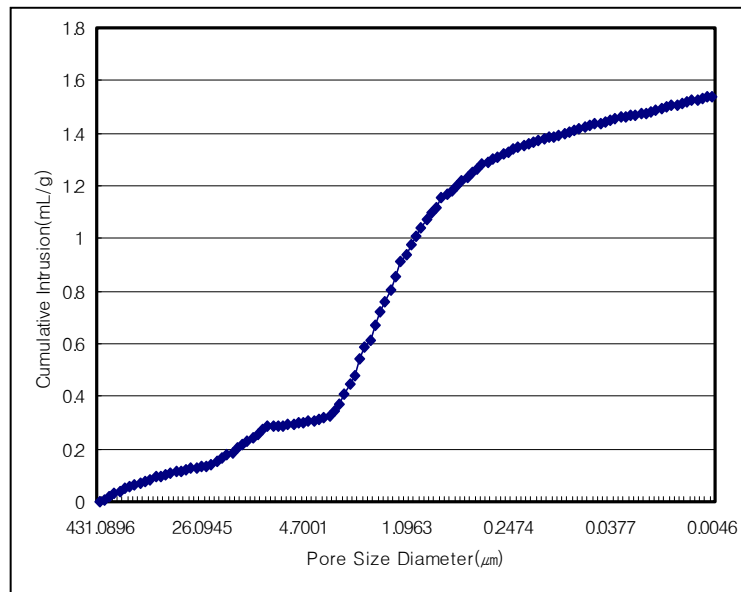


Fig. 3-19. Perlite A : Porosity(Cumulative Intrusion vs Pore Size)

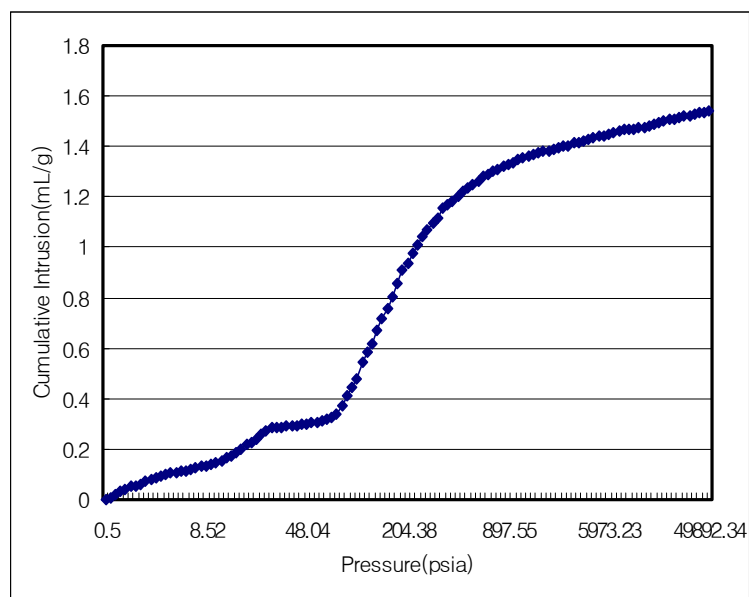


Fig. 3-20. Perlite A : Porosity(Cumulative Intrusion vs Pressure)

Fig. 3-21. 에 Perlite B 의 Porosity를 측정함에 있어 Pore Size(μm)에 대한

Cumulative Intrusion(mL/g)의 관계를 그래프로 정리하여 나타내었다. 그림에서는 Pore Size Diameter가 최초 431 μm 에서 시작하여 0.0046 μm 까지 수은 주입량의 누적분을 설명하고 있다. Fig. 3-22. 예는 Perlite B의 Porosity를 측정함에 있어 Pore Size(μm)에 대한 Pressure(psia)의 관계를 그래프로 정리하여 나타내었다. 압력은 최초 0.5psia 로 가해지기 시작하여 49,892psia까지 가해졌을때 정점에 도달하였다.

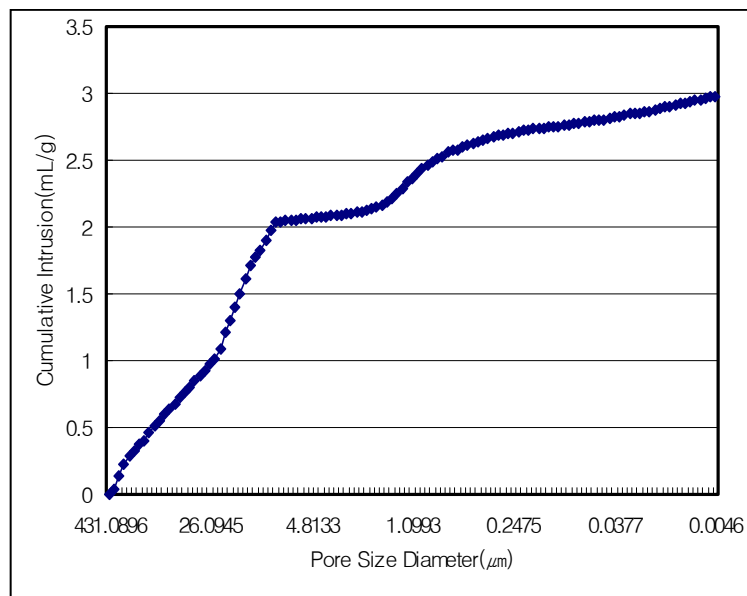


Fig. 3-21. Perlite B : Porosity(Cumulative Intrusion vs Pore Size)

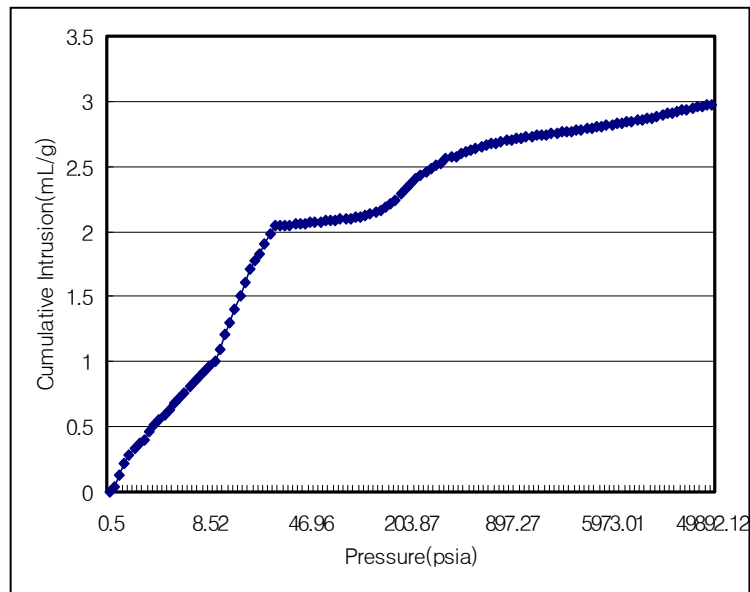


Fig. 3-22. Perlite B : Porosity(Cumulative Intrusion vs Pressure)

Fig. 3-23. 에 Perlite C 의 Porosity를 측정함에 있어 Pore Size(μm)에 대한 Cumulative Intrusion(mL/g)의 관계를 그래프로 정리하여 나타내었다. 그림에서는 Pore Size Diameter가 최초 $431\mu\text{m}$ 에서 시작하여 $0.0046\mu\text{m}$ 까지 수은 주입량의 누적분을 설명하고 있다. 다음 Fig. 3-24. 에는 Perlite B의 Porosity를 측정함에 있어 Pore Size(μm)에 대한 Pressure(psia)의 관계를 그래프로 정리하여 나타내었다. 압력은 최초 0.5psia 로 가해지기 시작하여 $49,808\text{psia}$ 까지 가해졌을때 정점에 도달하였다.

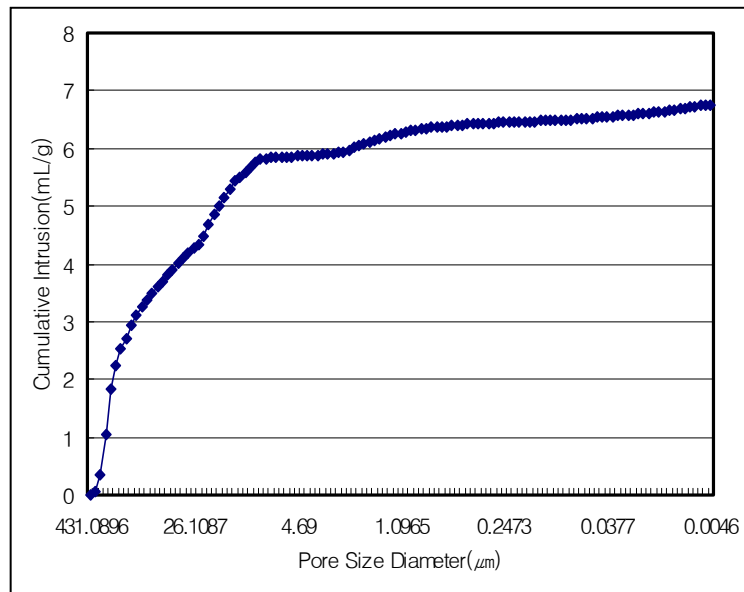


Fig. 3-23. Perlite C : Porosity(Cumulative Intrusion vs Pore Size)

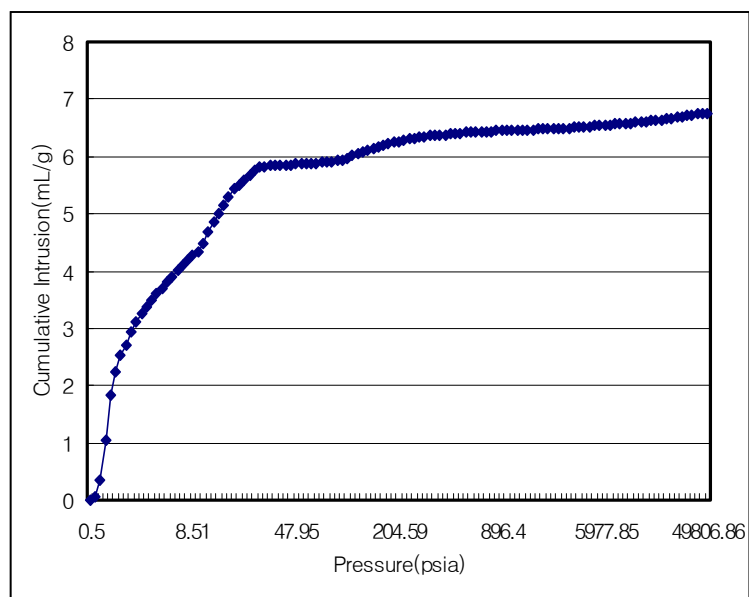


Fig. 3-24. Perlite C : Porosity(Cumulative Intrusion vs Pressure)

Perlite의 분석은 본 연구원 내 공용실험실의 비표면적 시험기(Surface Area & Porosimeters)를 이용하여 분석하였다. 그 결과를 다음 Table 3-8. 에 정리하였다. A 타입은 평균 $1.5016\text{m}^2/\text{g}$, B 타입은 평균 $1.7266\text{m}^2/\text{g}$ 그리고 C 타입은 $1.7031\text{m}^2/\text{g}$ 의 크기를 갖는 것으로 측정되었다. 분석간 적용된 압력은 A 타입은 764.8mmHg, B 타입은 755.9mmHg 그리고 C 타입은 755.7mmHg 이었다. 다공성 흡착제의 비표면적은 돈분뇨 폐수와 Perlite의 고온산화반응에 영향을 미칠것으로 예상되며 표면적이 클수록 흡착율에 큰 영향을 미칠것으로 판단된다.

Table 3-8. Perlite Surface Area

시료명	시험결과	비고
A	$1.5016\text{m}^2/\text{g}$	Analysis pressure 764.8mmHg
B	$1.7266\text{m}^2/\text{g}$	Analysis pressure 755.9mmHg
C	$1.7031\text{m}^2/\text{g}$	Analysis pressure 755.7mmHg

다공성 흡착제의 기공분포를 SEM 분석을 통하여 각각의 기공크기를 측정하였다. 다음 Fig. 3-25. 에 실험에 사용하기전 제품 상태의 Perlite의 표면구조를 나타내었다. Perlite의 외부 표면의 기공의 크기는 $30 - 50\mu\text{m}$ 사이에서 다양하게 나타났으며 전체 기공율은 위에서 분석한 바에 의하면 대략 68% - 88% 인 것으로 분석되었다. Perlite의 원석은 화성암의 석영조면암의 일종으로 내부에 다수의 기포를 가진 유리질의 입상체임을 확인할 수 있었다. 고온산화반응간 Perlite의 내부 미세공극에 다량의 돈분뇨 성분이 흡착하게 된다.

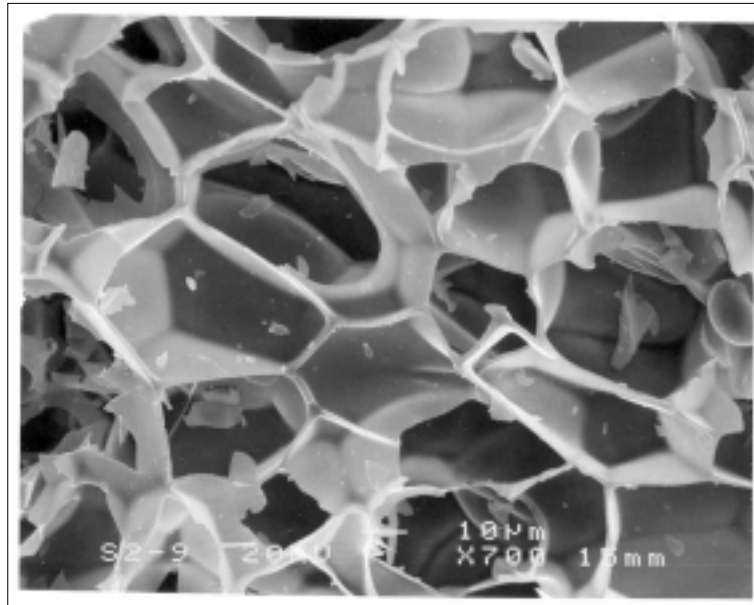


Fig. 3-25. Perlite의 SEM 분석도

제2절 축산폐수처리시스템 구축

1. 축산폐수처리공정

흡착은 중요한 정화 및 분리공정으로서 폐수중의 유기성물질과 색도의 제거 및 대기중의 악취의 제거등에 널리 적용되는 단위공정으로서 폐수중의 유기성화합물, 생물학적 물질 및 귀금속의 회수등에도 적용가능하다. 경제적인 흡착공정의 적용을 위해서는 폐수조건에 맞는 흡착제 및 반응조건의 선정이 필요하며 효과적인 흡착을 위해서는 높은 선택성 및 긴수명을 갖는 흡착제의 선정이 중요하다. 이용 가능한 흡착제로는 활성탄, 알루미나, 실리카, 이온교환수지등이 주로 사용되는데 여기서는 perlite, zeolite의 주요 특성을 비교하였다. 부유법은 폐수속의 현탁물질을 물리·화학적방법으로 분리하는 공정인데 응용공정으로서 열적 처리를 가하게되면 악취제거, 단백질화합물의 처리 및 화학반응의 효과증대가 가능하다.

다음의 Fig. 3-26. 에 돈분·뇨폐수 처리공정도를 나타내었다. 주요공정으로 집수조에 유입된 돈분뇨원폐수는 Perlite와 혼합된 후 고온산화반응조에서 고온의 가스에

의한 고온산화반응과 perlite에 의한 흡착반응이 일어나고, DSM탈수기등의 탈수시스템에서 탈수후에 Perlite 여과조 및 A/C 여과조를 통과하게 되며 최종 처리수의 수질에 따라서 계면활성제 처리 및 중간단계의 각 단위공정을 가감할 수 있다. 유입된 원폐수는 전처리로서 채거름을 하게되며 Perlite와 혼합하기 위한 Perlite Ejector를 통과한 후 Burning 시스템의 고온가스에 의한 산화 Ejector 시스템에서의 고온산화반응에 의하여 처리되며 이때 Perlite와 돈분·노폐수중의 특정성분과의 흡착반응이 병행 진행된다. Ejector 시스템은 Perlite와 시료를 혼합하여 흡착반응이 이루어지도록 하고 Condenser 시스템은 반응공정이 일정한 온도조건을 유지하도록하며 Burning System은 공정의 핵심 단위 시설로서 급속산화, 열분해탈취등이 가능하도록하는 기능을 갖는다. 다단부상조는 혼재된 Perlite와 폐수를 고액분리하며 케미컬 첨가에 의한 탈취기능을 갖는 공정이다. 폐 Perlite 부산물은 유기질 비료의 원료로서 사용되며 분리된 폐액은 다음단계로 이송된다. DSM탈수기, 고속원심분리형탈수기, 캔들필터등 각종 탈수공정을 거친 처리수는 이상의 공정에서 대부분 오염물의 처리가 가능할 것으로 판단되지만 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준을 만족하기 위하여 Perlite 여과조 및 A/C 여과조등을 통과하여 방류할 수 있다.

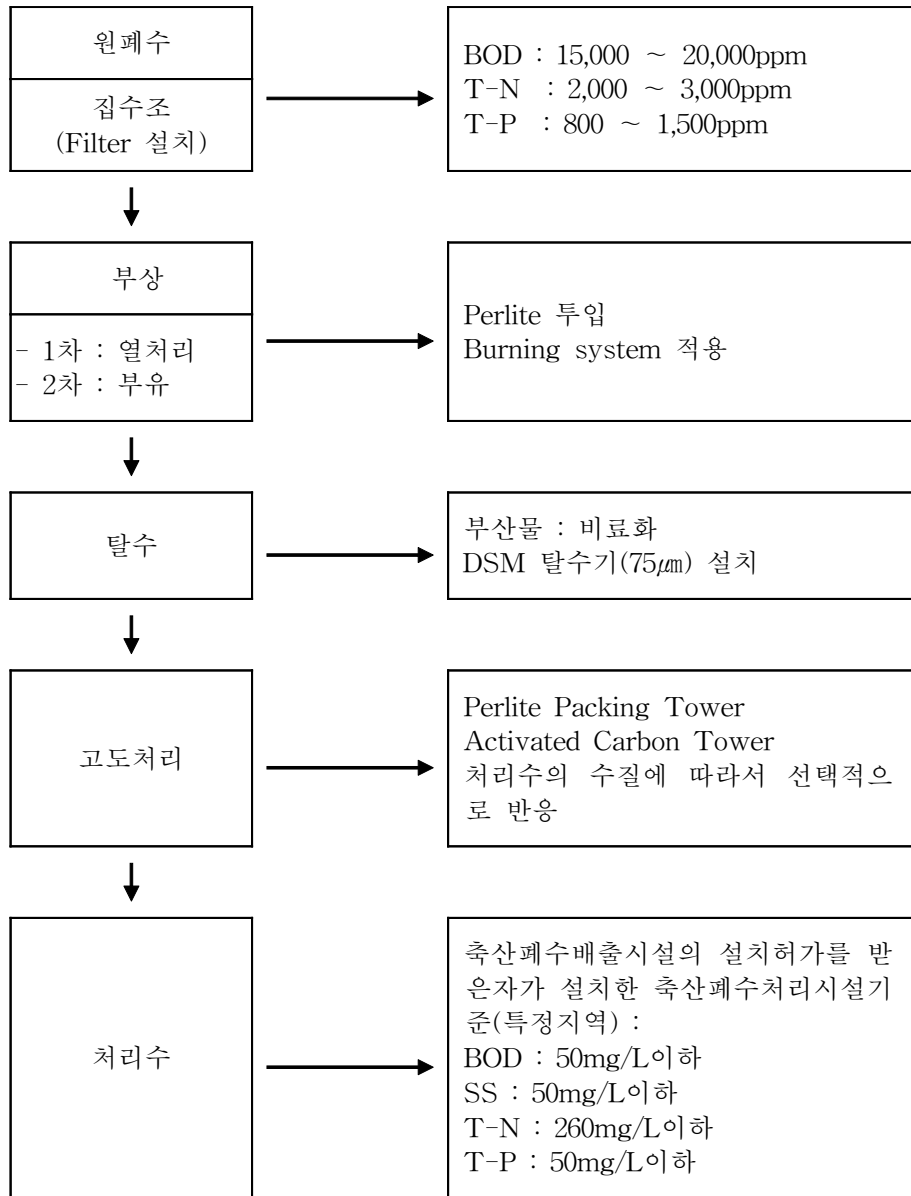


Fig. 3-26. 돈분 · 뇨폐수 처리공정도

The diagram illustrates a wastewater treatment process. Raw water (원수) with BOD 10,000-15,000ppm enters from the bottom left, passing through a Sieving (Pre-Filtration) unit. The water then flows through a Heat Exchanger (열교환기) and a Pumping Unit (2). It then enters a 1st Bubbling Bed (1차 Bubbling Bed(3)). The water then passes through a Fine Bubbler (4) and a Fine Sludge Separation (7) unit. The water then passes through a Perlite Filter (1차) and a Perlite Filter (2차). The final output is treated water (최종처리수 (방류)) with BOD 30-50ppm. The process also includes a Burning Unit (650-1000°C) and an Ejector (1). Sludge is recycled from the Fine Sludge Separation (7) unit back to the 1st Bubbling Bed (3) and the Fine Bubbler (4).

[illegible]

– 100 –

다음의 Fig. 3-29. 에 부유흡착 처리시스템의 전경을 나타내었다.



Fig. 3-29. 부유흡착 처리시스템의 전경

2. 고온산화장치제작

고온산화용 강제부유장치는 1톤/hr 의 용량으로서 주요시스템은 Ejector System, Burning System, Condenser(Heat Exchange) System으로 구성된다.

가. Ejector System

Ejector는 간단한 장치이지만 각종 공정에 저렴한 설치비와 유지비로 적용가능한 진공발생장치이다. Ejector는 구동유체의 종류에 따라서 분류되는데 구동유체에는 steam, water compressing air등이 있다. 구동유체의 힘으로 흡입력을 발생케되는 형태의 것을 총칭하여 Ejector라고 한다. Ejector의 특징은 설비장치가 간단하고 기계적 운동부분이 없어 보수유지비가 절감되며 부식성 유체에 적용할 수 있는 耐蝕性 재질을 자유로이 선택할 수 있고, 대용량의 구별없이 설계가 용이하며 설치장소에 구애받지 않으며 Energy 절약면에서 우수하다. 유입된 원폐수는 전처리로서 채거름을 하게 되며 Perlite와 혼합하기 위한 Perlite Ejector를 통과한 후 Burning 시스템의 고온가스에 의한 산화 Ejector 시스템에서의 고온산화반응에 의하여 처리되며 이때 Perlite와 돈분·노폐수중의 특정성분과의 흡착반응이 병행 진행된다.

다음의 Fig. 3-30. 에 Perlite 혼합용 Ejector System의 도면을 나타내었다.

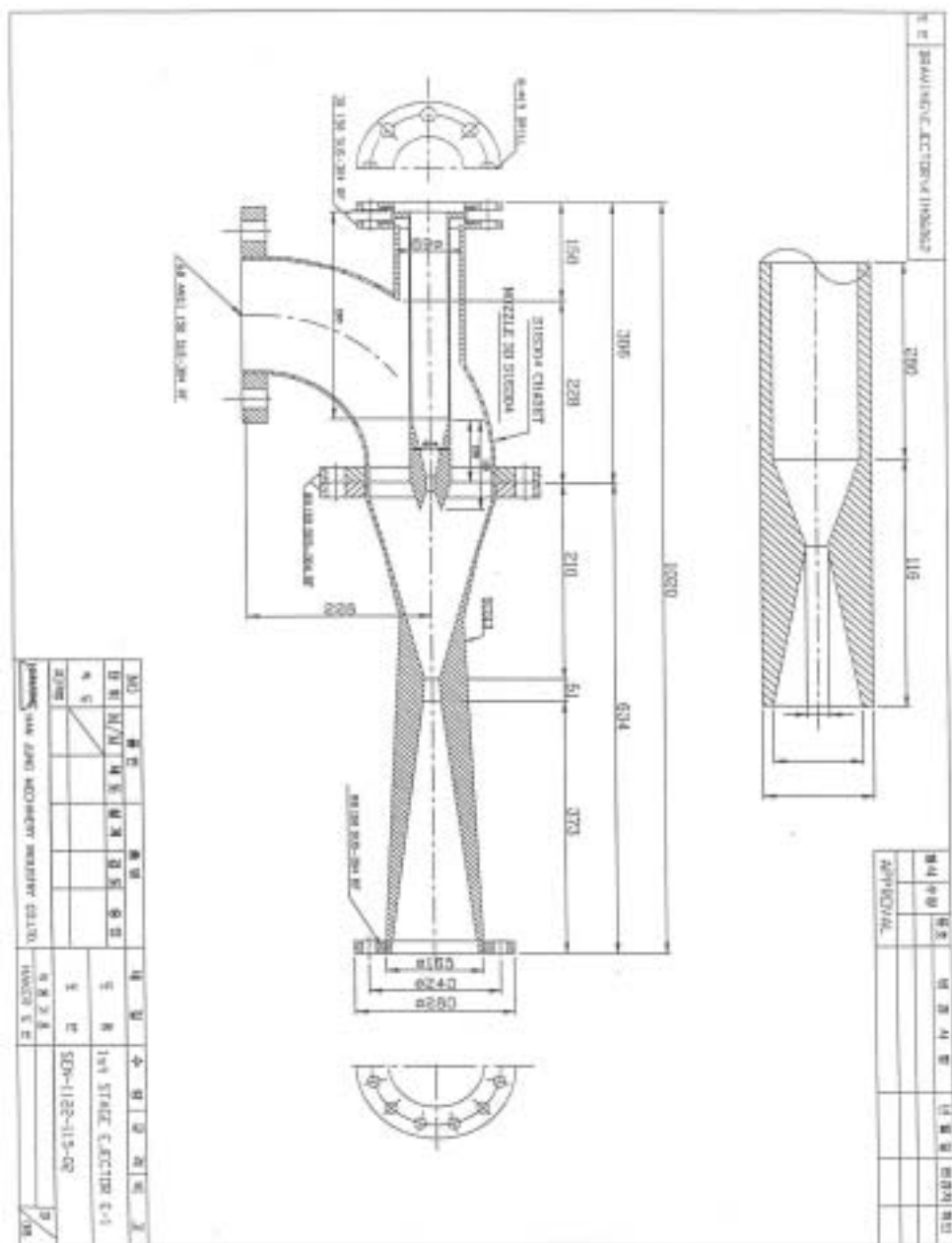


Fig. 3-30. perlite 돈분노 혼합용 perlite-ejector

[illegible]

– 104 –

다음의 Fig. 3-32. 에 Perlite 혼합용 Ejector System을 Fig. 3-33. 에 고온산화용 Multi Ejector System의 설치사진을 나타내었다.



Fig. 3-32. Perlite Ejector System



Fig. 3-33. Oxidation Ejector System

나. Burning system

Burning System은 축산폐수 처리시 온도에 따른 부유·흡착 특성을 검토하여 일정규모의 축산폐수를 적정하게 안정된 처리를 하기 위하여 필요한 단위공정이다. 시스템의 제작은 장비의 설계 및 제작, 검사 및 시험, 운반 및 설치, 시운전실시의 순서로 진행되었고 제작 전과정에서 한국생산기술연구원의 감독 및 검사가 실시되었다. 다음의 Table 3-9. 예 Burning System Specification을 제시하였다.

Table 3-9. Burning System Specification

NO	Item	Specifiacation
1	버너모델	SGX-80
2	최대열량 (Kcal/hr)	600,000
3	최소열량 (Kcal/hr)	300,000
4	최대연료사용량 (Nm ³ /hr)	54.5
5	최소연료사용량 (Nm ³ /hr)	27
6	연료공급압력 (mmAq)	200 ~ 4,000
7	최대사용가스압력 (mmAq)	200
8	최소사용가스압력 (mmAq)	150
9	사용전압 (동력) (3 Φ V)	220 / 380
10	사용전압 (제어) (10 Φ V)	220
11	사용주파수 (Hz)	60 / 50
12	송풍기모터 (Kw)	1.5
13	점화트랜스 2차 (V/mA)	10,000 / 18
14	버너컨트롤러	BC 2,000
15	컨트롤모터	SON 30
16	제어방식	Hi-Low
17	Turn Down Ratio	2 : 1
18	과잉공기율 (%)	20
19	화염길이/폭 (mm)	1,100 /450
20	배관구경 (mm A)	50
21	중량 (Kg)	260
22	사용연료 (Kcal/Nm ³)	L. N. G. HCV(11,000Kcal/Nm ³)

다음의 Fig. 3-34. 에 Burning system의 사진을 나타내었다.



Fig. 3-34. Burning system

다. Condenser(Heat Exchange) System

Condenser(Heat Exchange) System은 축산폐수 처리시 일정한 온도로 반응기 내부조건을 유지시킴으로서 일정규모의 축산폐수를 적정하게 안정된 처리를 하기 위하여 필요한 단위공정이다. 시스템의 제작은 장비의 설계 및 제작, 검사 및 시험, 운반 및 설치, 시운전실시의 순서로 진행되었고 제작 전과정에서 한국생산기술연구원의 감독 및 검사가 실시되었다. 다음의 Table 3-10. 에 Condenser System Specification을 제시하였다.

Table 3-10. Heat Exchanger Specification

NO	Item	Specifiacation	
1	Size	$\Phi 100 \times 3,500 \text{L} \times 2 \text{Pass}$ Sheet SS41 Tube Sheet Cupper	
		Shell Side	Tube Side
2	Fluid Circulated		
3	Total Fluid Entering		
4	Vapour	Combustion	
5	Liquid		12,000 (kg/hr)
6	Combustion Gas	800,000 (Kcal/hr)	
7	Non Condensable	37 (kg/hr)	
8	Fluid Vaporized or Condensed		
9	Condensed	5 (kg/hr)	
10	Gravity	0.0012	0.98
11	Viscosity		1 cp
12	Molecular Weight	29	18
13	Specific Heat	0.24	
14	thermal in for Waste Water		5 °C
15	Latent Heat Out for Waste Water	NON	85 °C
16	Temperature In	Amb	
17	Temperature Out	800 °C	
18	Operating Pressure	300 mAq	2 BArg
19	No of Passes per Shell		2Pass
20	Pressure Drop	150 mmAq	0.8Barg
21	Fouling Resistance		0.00007
22	Designation Pressure	1000mAq	
23	Heat Exchanged	600,000 (Kcal/hr)	
24	Transper Rate Service	Max 12m ³ /hr	
25	Tubes	In : 1.062 ' OD : 1.315 ' BWG WT 2.49 (Kg/m)	
26	Shell	ID : 494 OD : 508	
27	Shell Cover	SS 41	
28	Channel Cover	SS 41	
29	Tube Sheet Floating		
30	Baffles No.	SS 41	
31	Tube Sheet Clading Material	Cupper 15T	
32	Connection Shell Side	In : 6B OD : 6B	
33	Connection Channel Side	In : 2B OD : 2B	
34	Cupper Corrosion Allowance	AHELL Side : Non Tube Side : Non	
36	Remark		

다음의 Fig. 3-35. 에 Condenser System의 개략도를 나타내었다.

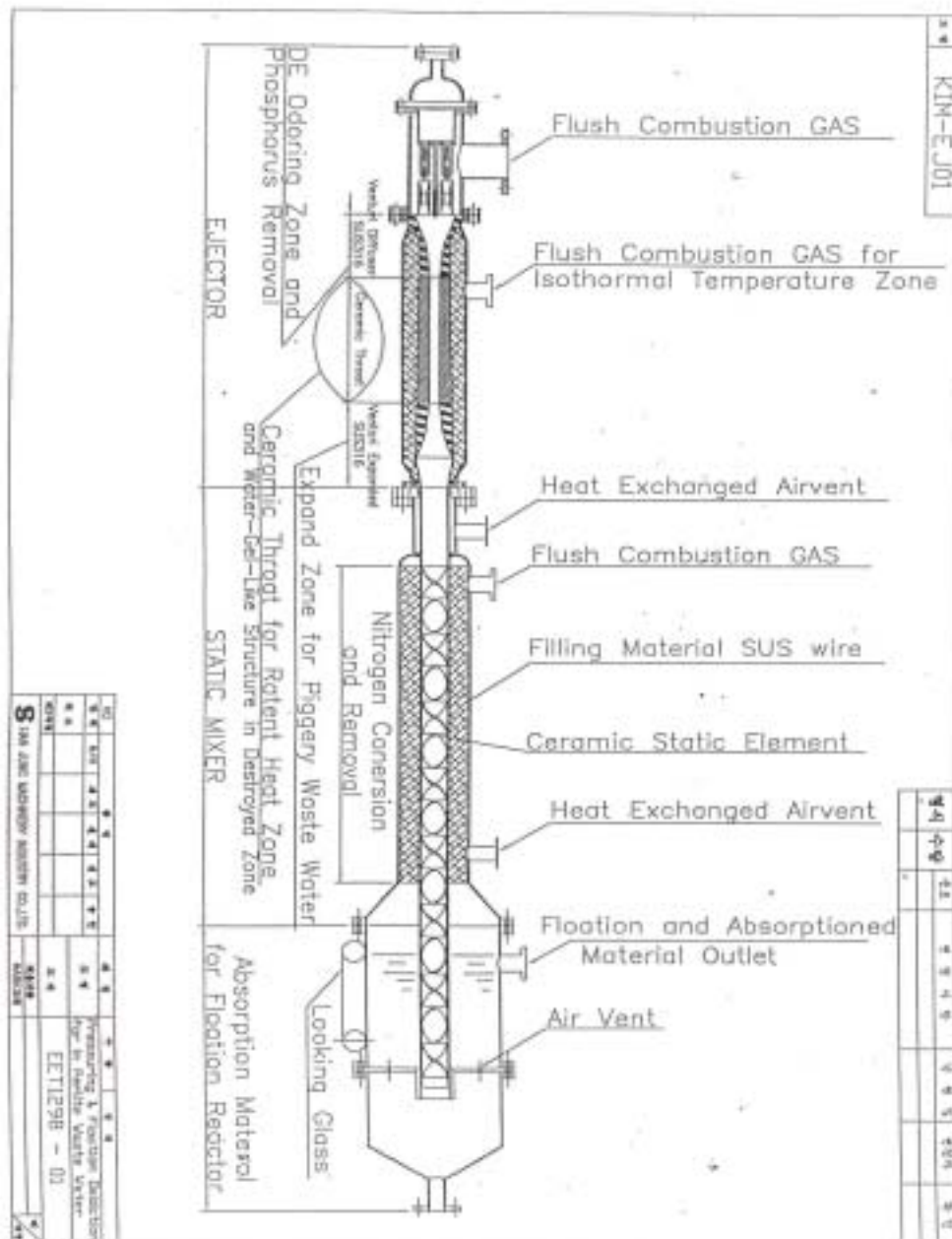


Fig. 3-35. Condenser System 개략도

다음의 Fig. 3-36. 에 Condenser System의 사진을 나타내었다.



Fig. 3-36. Condenser System

라. 탈수시스템

본 장치는 혼합상태로 반응한 돈분뇨 및 오·폐수를 MAIN SCREEN에 투사함으로써 SCREEN의 MESH에 맞는 크기 및 액만 투과시키고 나머지는 폐기 또는 재 순환할 목적으로 사용한다. 이때, 사용여건 및 재료의 여건에 맞게 MAIN SCREEN의 사양을 결정하는게 중요하며, 투사시 NOZZLE의 각도와 SCREEN의 ROUND 보정치를 치밀하게 계산 산정하여 원하는 목적에 적합하도록 하여야 한다. 오,폐수인 경우 MAIN SCREEN의 사용은 75 μ m을 대체적으로 사용하며, 전분인 경우 100 μ m이상을 선택, 사용하여야 하는데 여기서는 축산폐수처리를 위하여 75 μ m의 SCREEN을 설치하여 시운전하였다. 다음 Table 3-11. 에 DSM 탈수기 Specification을 나타내었다.

Table 3-11. DSM 탈수기 Specification

항 목	사 양	수 량
FRAME	1218 × 1100 × 2630	1 EA
MAIN SYSTEM	NOZZLE $\Phi 13 \times \Phi 5 \times 251$	8 EA
	SCREEN 75 μ m (590 × 1600)	2 EA
ACCESSORY	SCREEN GUIDE BRACKET	4 EA
	REAR FLOW GUIDE	1 EA
	MC PLATE	8 EA
	MC BRAKET	12 EA
	NOZZLE BRACKET	2 EA
	FRONT DOOR	1 EA
	HEADER	2 EA
	BALL BALVE	1 EA
	ROOF DOOR	8 EA
		1 EA

[illegible]

– 113 –

다음 Fig. 3-38. 에 DSM 탈수기 사진을 나타내었다.



Fig. 3-38. DSM Dehydrator

마. 단위공정의 개선

제작한 축산폐수처리장치의 성능을 개선하기 위하여 다음과 같은 사항을 조치하였다.

- 1) 버너시스템의 보호를 위하여 보호장치 설치
- 2) Perlite Ejector 장치의 주입용펌프를 돈분뇨 원폐수의 유입 및 Perlite 주입시 막힘이 없는 기종으로 교체
- 3) 연속적인 Perlite 주입이 가능하도록 Perlite 주입부분을 개선
- 4) 산화 Ejector의 막힘현상을 개선하고 처리효율을 향상시키기 위하여 기존의 Multi-Ejector에 병행하여 Single-ejector를 설치하고 산화반응조의 일부 처리폐수를 재순환하여 안정적인 처리가 가능하도록 개선
- 5) Heat Exchanger의 성능향상을 위하여 내부 도관을 정비
- 6) 탈수성능 향상을 위하여 Particle Size 별로 제거 가능하도록 DSM Dehydrator 및 Candle Filter의 위치를 조정하여 설치

개선된 단위공정의 현장 설치사진을 다음에 나타내었다.



Fig. 3-39. 원수집수 System



Fig. 3-40. 버너시스템



Fig. 3-41. Perlite Ejector



Fig. 3-42. Oxidation Ejector



Fig. 3-43. Heat Exchanger System



Fig. 3-44. Reactor System



Fig. 3-45. DSM Dehydrator System



Fig. 3-46 Candle Filter System

3. 축산폐수처리시스템 운전결과

가. 돈분뇨폐수의 특성

실험에 사용한 돈분·뇨폐수 원수의 각종 수질항목을 분석한 결과를 다음 Table 3-12. 에 나타내었다. 돈분과 뇨가 혼재된 폐수를 대상으로 분석하였는데 축산폐수의 물리·화학적 특성은 저장기간, 분뇨수거방식, 관리상태에 따라서 많은 차이가 있으므로 pilot plant의 운전조건이 달라질 경우 원수시료에 대한 분석을 실시할 필요가 있다. 분석은 원수를 침전시켜 비교적 큰 입자상 물질을 침전시킨 상등액과 완전혼합한 혼합액을 대상으로 하였다. 분석결과를 보면 시료의 pH는 8.5정도로써 약알칼리성이었고 BOD₅는 19,300mg/L ~ 20,400mg/L로서 기존 연구에서 제시하고 있는 돈분 59,900mg/L과 돈뇨 4,000mg/L의 중간범위이었는데 이는 본실험에서는 사용한 시료가 돈분·뇨가 혼합되어 있기때문이며 이를 고려할 경우 기존 연구에서의 농도와 유사한 범위라고 판단된다. COD_{Cr}은 20,000mg/L ~ 21,300mg/L이었는데 대부분의 COD 유발물질이 생분해 가능한 물질인 관계로 BOD 농도와 거의 유사한 결과를 나타내었다.

Table 3-12. 축산폐수의 이화학적 특성

분석항목	상등액	혼합액
pH	8.58	8.49
TSS	9,273 mg/L	10,423 mg/L
BOD ₅	19320 mg/L	20,400 mg/L
COD _{Cr}	20,080 mg/L	21,250 mg/L
T-N	2,123 mg/L	2,286 mg/L
T-P	194 mg/L	207 mg/L
NH ₃ -N	4172.62 mg/L	4165.29 mg/L
Cl ⁻	1616 mg/L	1849 mg/L
Mg	1.41 mg/L	8.89 mg/L
Pb	ND	ND
Cd	0.01 mg/L	0.06 mg/L
As	0.13 mg/L	0.09 mg/L
Hg	ND	ND

다음 Table 3-13. 에 축산폐수의 계절별 특성을 분석하여 정리하였다. 실험에 사용한 축산폐수는 전북 익산군 왕궁면에 위치한 돼지 1,000두를 사육하는 양돈농가의 돈분뇨를 이용하였다. 시료는 채취당일 분석을 하는 것을 원칙으로 하고 4℃ 이하의 냉장고에 보관하는 한편 분석간 시료중의 침전물로 인한 오차를 줄이기 위하여 시료를 수차례 교반후 사용하였다. 월별로 각 성분의 농도차가 있음을 알 수 있는데 이는 왕궁지역의 한 축산 농가를 대상으로 고온산화장치를 설치하여 운전하였으므로 돈사에서 사육하는 돼지의 수와도 연관이 있기 때문이다. 돼지를 출하한 경우에는 일시적으로 폐수발생이 돼지 않고 집수조에 기존의 돈분뇨가 정체된 상태로 있기에 Table에서 텅이타가 누락된 부분도 있다. COD 농도는 대략 4,500mg/L - 19,000mg/L이고 T-N은 1,600mg/L - 3 500mg/L, 그리고 T-P는 70mg/L - 200mg/L의 범위이다.

Table 3-13. 축산폐수의 계절별 특성

월	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
1월	9298	11480	2480	1626	143
2월	13087	15280	3200	2166	174
3월	15787	18750	1800	2315	182
4월	15159	18600	1280	3545	201
5월	13650	17,500	1,175	2,920	184
6월	-	-	-	-	-
7월	-	-	-	-	-
8월	8528	10400	867	2080	123
9월	4421	5100	478	1590	78
10월	3689	4340	1160	1203	65
11월	-	-	-	-	-
12월	10690	12150	1834	1932	164

다음 Fig. 3-47. 에 축산폐수의 계절별 특성을 분석하여 나타내었다.

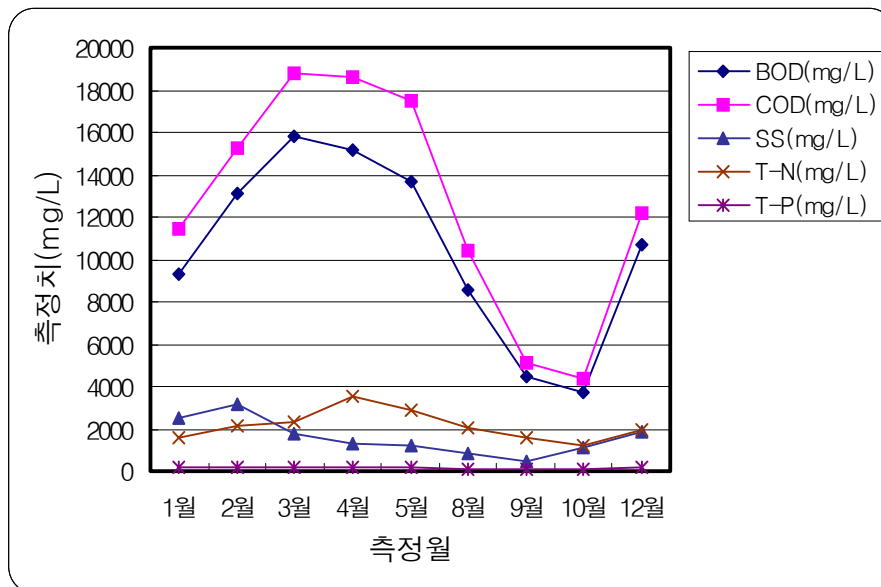


Fig. 3-47. 축산폐수의 계절별 특성

그리고 다음 Table 3-14. 와 Fig. 3-48. 에 테스트간 돈분뇨 원수로 사용한 충남 O 축산폐수처리장의 축산폐수의 계절별 특성을 나타내었다. 1월에서 12월까지 매월 분석한 자료의 평균값을 나타낸 것인데 지역의 각 농가에서 발생하는 돈분뇨폐수를 폐수운반차에 의하여 수거하여 집수한 것이기에 계절에 따른 농도차가 크지 않은 편이다. 따라서 축산폐수처리장의 안정적인 운전이 가능할 것으로 판단된다.

Table 3-14. 축산폐수의 계절별 특성

월	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
1월	32,092	10,429	32,381	5,806	1,022
2월	32,356	10,970	30,777	5,043	506
3월	31,479	10,866	30,980	3,186	421
4월	26,749	8,299	28,959	5,238	867
5월	33,263	10,492	32,525	5,595	925
6월	29,130	10,966	32,041	7,571	673
7월	32,412	10,829	31,345	7,214	1,301
8월	22,757	8,934	32,972	6,548	987
9월	26,208	8,076	28,019	4,709	1,291
10월	31,206	9,585	31,863	4,769	950
11월	31,720	11,034	31,042	4,050	578
12월	30,583	10,037	30,238	7,028	1,295

(자료 : 충남 O 처리장 분석자료)

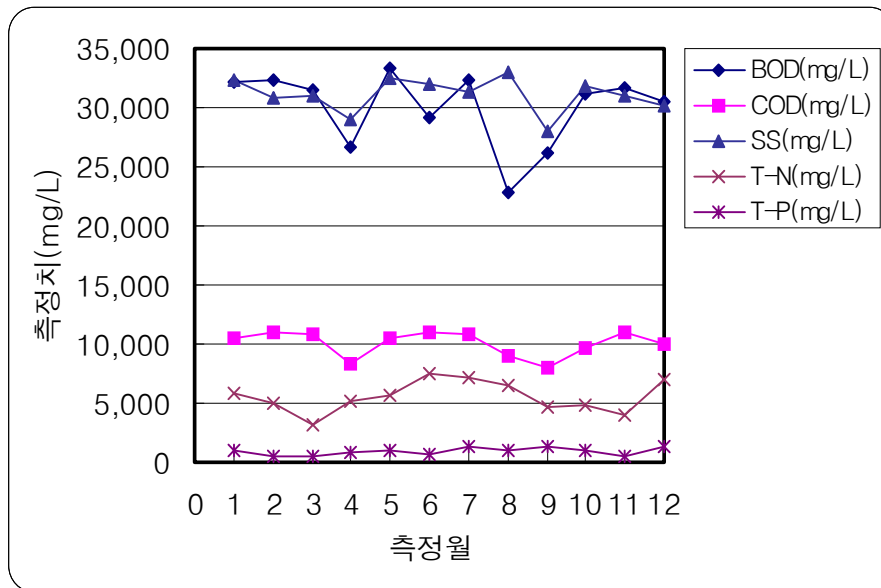


Fig. 3-48. 축산폐수의 계절별 특성(자료 : 충남 O 처리장 분석자료)

나. 돈분뇨폐수의 분석방법

돈분·뇨 폐수 시료에서 각종 오염물의 분리 정도를 검토하기 위하여 시료는 각각의 실험에서 적당한 시간간격을 정하여 채취하였으며 분석항목에 따라서 시료를 희석하여 사용하였다. 분석방법은 환경오염공정시험법과 미국 Standard Methods를 참고하였으며 각 항목별 분석방법과 사용된 기기를 다음 Table 3-15. 에 제시하였다.

Table 3-15. 분석방법

분석항목	분석방법
수온(℃)	수온온도계
pH	pH meter electrode method
DO(mg/L)	Azide Method
BOD(mg/L)	Winkler Method Azide Modification
COD(mg/L)	K ₂ Cr ₂ O ₇ Closed Reflux, Colorimetric Method
SS(mg/L)	Gravimetic Method, Dry Oven(105℃)
T-N(mg/L)	Nessler Method
NH ₃ -N(mg/L)	Nessler Method
T-P(mg/L)	Acid Persulfate Digestion Method
Cl ⁻ (mg/L)	질산은 적정법
As(mg/L)	Atomic absorption/flame spectrophotometer
Cd(mg/L)	Atomic absorption/flame spectrophotometer
Hg(mg/L)	Atomic absorption/flame spectrophotometer
Pb(mg/L)	Atomic absorption/flame spectrophotometer
Cu(mg/L)	Atomic absorption/flame spectrophotometer
함수율(%)	105℃ 건조법

시료의 채취는 실험의 가장 기본이며, 중요한 부분으로서 시료 채취자는 목적시료의 성질을 대표할 수 있도록 공정하고 적합하게 채취하여야 한다. 폐수의 방류수로가 한 지점 이상일 때에는 각 수로별로 채취하여 별개의 시료로 하며 필요에 따라 부지 경계선 외부의 배출구 수로에서도 채취할 수 있다. 시료채취시 우수나 채취목적 이외의 물이 포함되지 말아야 한다. 채취위치는 각 처리시설의 배출입구, 대표시료를 얻을 수 있는 지점, 혼합이 충분하고 안전하게 채취할 수 있는 곳을 선정해야 한다. 채취된 시료를 즉시 실험해야 하며, 그렇지 못할 경우에는 시료의 보존방법에 따라 규정된 시간 내에서 실험해야 한다. 측정항목별 시료의 보존방법은 다음 Table 3-16. 에 나타내었다.

Table 3-16. 시료의 보존방법

측 정 항 목	시 료 용 기	보 존 방 법	최대 보존 기간 (권장보존기간)
온도	P, G	-	즉시 측정
수소이온농도	P, G	-	즉시 측정
용존산소			
전극법	BOD병	-	즉시 측정
윙클러법	BOD병	현장에서 DO 고정후 암소보관	8 시간
생물화학적산소요구량	P, G	4 ℃ 보관	48 시간(6 시간)
화 학 적 산 소 요 구 량	P, G	4 ℃, H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28 일(7 일)
색도	P, G	4 ℃ 보관	48 시간
부유물질	P, G	4 ℃ 보관	7 일
염소이온	P, G		28 일
암모니아성질소	P, G	4 ℃, H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28 일(7 일)
아질산성 질소	P, G	4 ℃ 보관	48 시간(즉시)
질산성 질소	P, G	4 ℃ 보관	48 시간
총 질소	P, G	4 ℃ H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28 일(7 일)
인산염인	P, G	즉시 여과한후 4 ℃ 보관	48 시간
총인	P, G	4 ℃, H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28 일

* P : polyethylene, G : Glass

다. 테스트결과

1) 기초실험

돈분뇨폐수 원수는 암모니아와 여러 가지 결합형태의 질소를 포함하는데 대부분 분뇨의 암모늄은 동물의 오줌 요소($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)에서 기인하며 용해된 요소는 쉽게 암모니아로 전환하는 특징이 있다. 돈분뇨폐수의 처리에 있어 pH, 온도, 반응시간등에 영향을 받을것으로 생각하여 다음 Fig. 3-49. 에서 pH 변화시 80℃에서 30분에서 2시간 까지 반응을 시킬 경우의 $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 농도변화를 살펴보았다. 원수의 pH 조절과정에서 약간의 암모니아가 스트리핑 효과에 의하여 처리되었고 암모니아는 반응시간에 따라 제거율이 증가하게 되는데 2시간 경과시 돈분뇨원수 pH 7.5에서 20%, pH 12에서 65%의 제거율을 보였다.

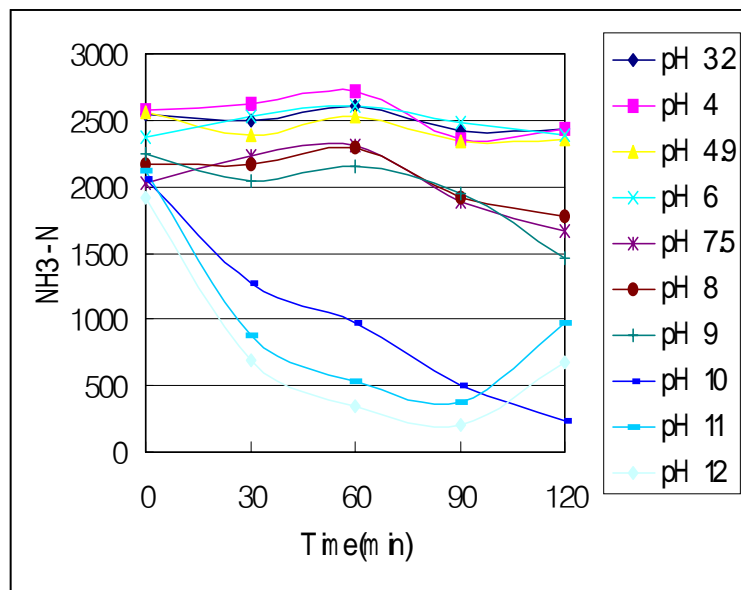


Fig. 3-49. pH 변화시 $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 농도변화(80℃ 반응)

Fig. 3-50. 는 pH 변화시 80℃에서 30분에서 2시간까지 반응을 시킬 경우 T-N의 농도변화를 살펴보았다. T-N은 반응 시간에 따라 제거율이 증가하게 되는데 pH 7.5에서는 경미한 제거율을 보였으나 pH 12로 조정하였을 경우 40%의 제거율을 보였다.

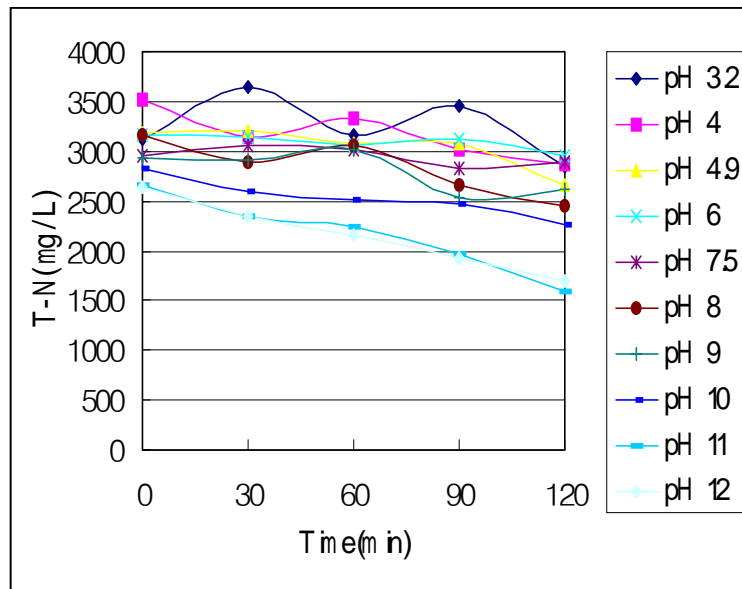


Fig. 3-50. pH 변화시 T-N의 농도변화(80℃ 반응)

다음 Fig. 3-51. 는 pH 변화시 80℃에서 30분에서 2시간까지 반응을 시킬 경우의 $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 농도변화를 살펴본 것이다. 원수의 pH 조절과정에서 약간의 암모니아가 스트리핑 효과에 의하여 처리되었고 암모니아는 반응시간에 따라 제거율이 증가하게 되는데 2시간 경과시 돈분뇨원수 pH 7에서 60%, pH 12에서 92%의 제거율을 보였다. Fig. 3-52. 은 pH 변화시 100℃에서 30분에서 2시간까지 반응을 시킬 경우 T-N의 농도변화를 살펴보았다. T-N은 반응 시간에 따라 제거율이 증가하게 되는데 pH 7에서는 20%, pH 12에서 70%의 제거율을 보였다. 다음 Fig. 3-53. 은 100℃에서 반응을 시킬 경우 T-N 처리간 pH의 변화를 나타낸 것이다. 반응간 조정된 pH는 반응시간이 경과하여도 거의 변화가 없음을 알 수 있었다.

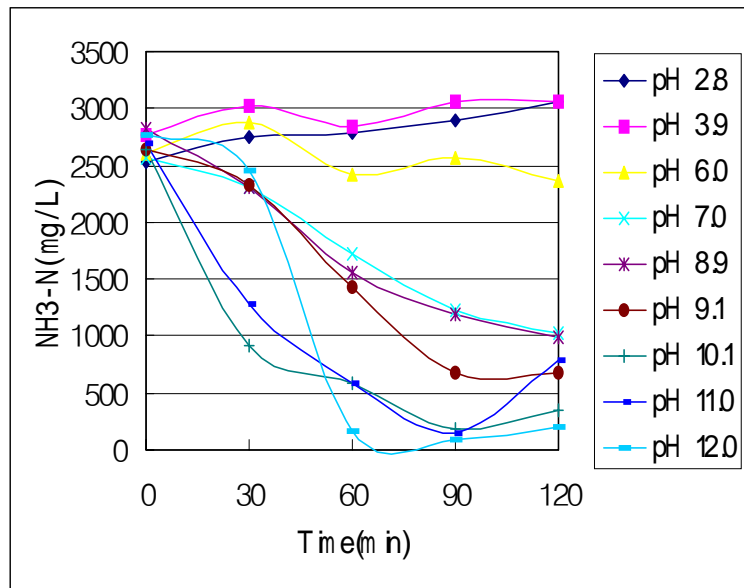


Fig. 3-51. pH 변화시 NH₃-N의 농도변화(100°C 반응)

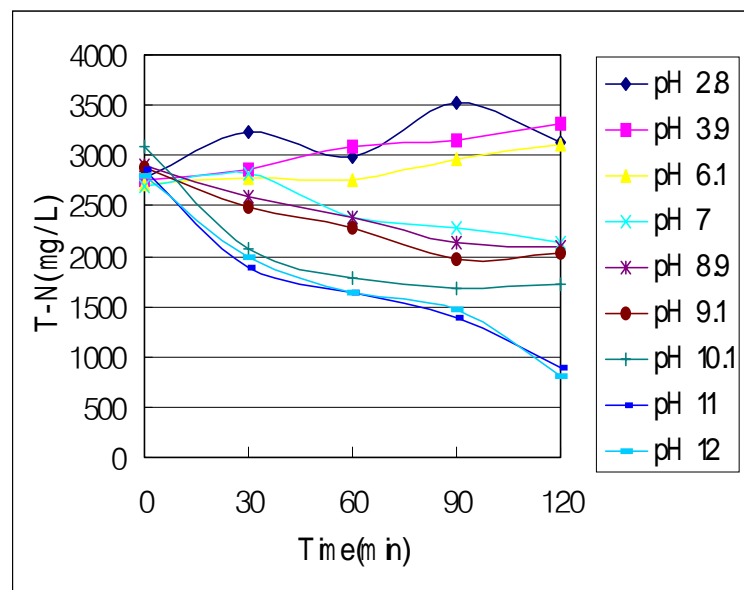


Fig. 3-52. pH 변화시 T-N의 농도변화(100°C 반응)

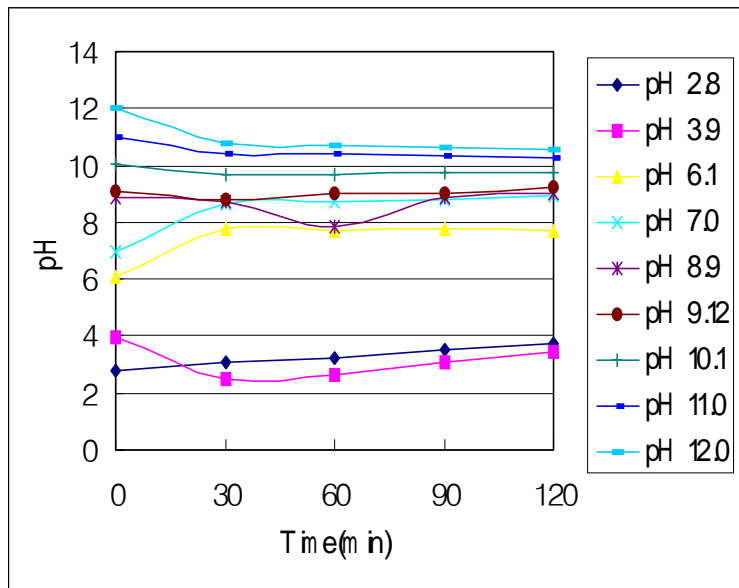


Fig. 3-53. T-N 처리시 pH의 변화(100°C 반응)

다음 Fig. 3-54. 은 80°C 와 100°C로 온도 변화시 $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 농도변화를 비교한 것이다. 80°C와 100°C에서 30분에서 2시간까지 반응을 시킬 경우 pH 7인 경우 80°C에서는 $\text{NH}_3\text{-N}$ 이 20%, 100°C에서는 60%가 제거되었고 pH12인 경우 80°C에서는 $\text{NH}_3\text{-N}$ 이 65%, 100°C에서는 92%가 제거되었다. 다음 Fig. 3-55. 는 80°C 와 100°C로 온도 변화시 T-N의 농도변화를 비교한 것이다. 80°C와 100°C에서 30분에서 2시간까지 반응을 시킬 경우 pH 7인 경우 80°C에서는 T-N이 5%, 100°C에서는 20%가 제거되었고 pH12인 경우 80°C에서는 T-N이 40%, 100°C에서는 70%가 제거되었다. 반응간 조정 한 pH는 반응시간이 경과하여도 거의 변화가 없음을 알 수 있었다.

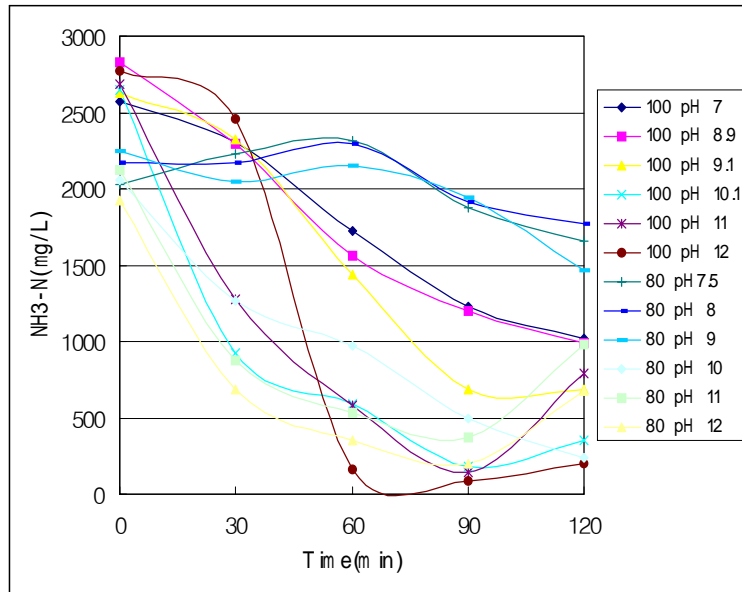


Fig. 3-54. 온도 변화시 NH₃-N의 농도변화(80℃와 100℃ 반응비교)

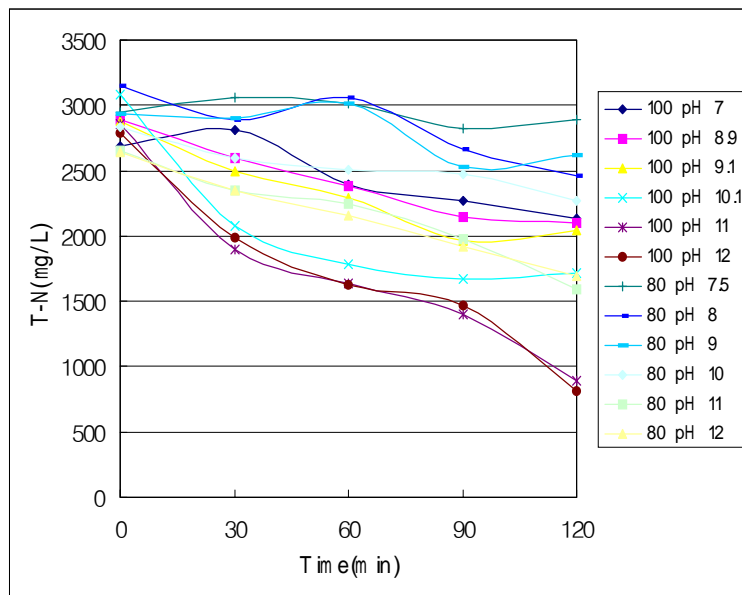


Fig. 3-55. 온도 변화시 T-N의 농도변화(80℃와 100℃ 반응비교)

2) Pilot Plant 운전결과

가) Ejector 시뮬레이션

시뮬레이션 결과를 고려하여 Pilot Plant Test 결과를 다음 Table 3-17. 에 정리하였다. Table 3-17. 은 Single Ejector와 Multi Ejector를 각각 적용하여 부상 반응조에서의 돈분·노폐수와 Perlite를 Furnace 650℃에서 반응시킨후 시료의 분석결과를 나타낸 것이다. 본 실험에 사용된 시료는 축사에서 배출된 돈분·노폐수 원수를 그대로 사용하였기에 비교적 고농도이며 Single Ejector와 Multi Ejector의 실험에 있어 원수의 농도가 다른 것은 각각의 Pilot Plant 운전시 계절차이 때문이다. 최초 Multi Ejector(throat : 5mm)를 적용한 경우 양호한 결과를 얻을 수 있었으나 돼지털등의 협잡물로 인하여 폐색 현상의 우려가 있어 Single Ejector(throat : 15mm)를 적용한 결과 다소 저조한 결과를 나타냄을 알 수 있었다.

Table 3-17. 고온산화반응조에서의 돈분노폐수와 Perlite의 처리

항목		원수	처리수	제거율(%)
Single-Ejector	BOD(mg/L)	16,150	11,960	25.9
	COD _{Cr} (mg/L)	19,000	13,440	29.3
	T-N(mg/L)	2,385	1,725	27.7
Multi-Ejector	BOD(mg/L)	19,320	1,140	94.1
	COD _{Cr} (mg/L)	20,080	1,290	93.6
	T-N(mg/L)	2,123	215	89.9

나) Multi-Ejector 운전결과

Pilot Plant Test 결과를 다음 Table 3-18. 에 정리하였다. Table 는 고온산화반응조에서의 돈분노폐수와 Perlite를 Furnace 650℃에서 반응시킨후 시료의 분석결과를 나타낸 것이다. 본 실험에 사용된 시료는 축사에서 배출된 돈분노폐수 원수를 그대로 사용하였기에 비교적 고농도임을 알 수 있다. pH는 7.22이었고 BOD는 19,320mg/L에서 1,140mg/L로 94.1%가 제거되었다. COD의 경우는 20,080mg/L에서 1,290mg/L으로

93.6%가 제거되었고 T-N은 2,123mg/L에서 215mg/L로 89.9%가 제거되었으며 Cu는 89.1%가 감소하였다.

Table 3-18. 고온산화반응조에서의 고농도 돈분뇨폐수와 Perlite의 처리

항목	원수	처리수	제거율(%)
pH	7.68	7.22	-
BOD(mg/L)	19,320	1,140	94.1
COD _{Cr} (mg/L)	20,080	1,290	93.6
T-N(mg/L)	2,123	215	89.9
Cu(mg/L)	75.9	8.3	89.1

다음 Table 3-19. 는 고온산화반응조에서의 저농도 돈분뇨폐수와 Perlite의 반응결과를 거친 돈분뇨폐수와 Perlite를 Furnace 650℃에서 반응시킨 후 분석결과를 나타낸 것이다. 본 실험에 사용된 시료는 축사에서 배출된 돈분·뇨폐수 원수를 집수조에서 일정기간 경과한 것을 사용하였기에 우수등 다량의 희석수가 유입되어 Table 의 결과 보다는 원수 농도 및 처리수의 농도가 다소 낮음을 알 수 있다. BOD는 7,350mg/L에서 331mg/L로 95.5%가 제거되었고 COD의 경우는 8,316mg/L에서 270mg/L으로 96.8%가 제거되었고 T-N은 354mg/L에서 136mg/L로 61.6%가 제거되었으며 Cu는 91.2%가 감소하였다.

Table 3-19. 고온산화반응조에서의 저농도 돈분뇨폐수와 Perlite의 처리

항목	원수	처리수	제거율(%)
BOD(mg/L)	7,350	331	95.5
COD _{Cr} (mg/L)	8,316	270	96.8
T-N(mg/L)	354	136	61.6
Cu(mg/L)	35.2	3.1	91.2

다음의 Table 3-20. 은 고농도 돈분뇨폐수와 저농도 돈분뇨폐수의 처리 후 제거율

을 비교한 것이다. BOD 제거율, COD_{Cr} 제거율, Cu 제거율등은 고농도와 저농도의 경우에 거의 유사한 처리 효율을 나타냈지만 T-N의 경우 저농도 돈분뇨폐수에서 제거율이 낮았다. 원수의 T-N 농도는 고농도 원수의 경우 2,123mg/L 이었고 저농도 원수의 경우에는 354mg/L 이었지만 처리수의 T-N 농도는 각각 215mg/L와 136mg/L이었다. T-N 제거율은 고농도의 경우가 저농도의 경우보다 높았지만 처리수의 T-N의 농도는 저농도의 경우가 136mg/L로서 훨씬 낮은 값을 나타내었다.

Table 3-20. 고온산화반응조에서 고농도 돈분뇨폐수와 저농도 돈분뇨폐수의 처리율 비교

항목	고농도 돈분뇨폐수	저농도 돈분뇨폐수
BOD 제거율(%)	94.1	95.5
COD _{Cr} 제거율(%)	93.6	96.8
T-N 제거율(%)	89.9	61.6
Cu 제거율(%)	89.1	91.2

다) Single-Ejector 운전결과

다음 Table 3-21.(a) 과 Table 3-21.(b)는 고온산화반응조에서의 산화용 Single-Ejector 테스트를 한 결과이다. 돈분뇨폐수와 Perlite를 산화용 Single-Ejector를 장착한 상태에서 유입원수 수온은 18℃로 Perlite를 소량 첨가한 상태에서 Furnace 온도 550℃, 650℃, 740℃에서 반응시킨 후 분석결과를 나타낸 것이다. Furnace에서 발생한 고온가스의 온도를 측정한 것이기에 실제 고온산화반응용 Ejector 지점에서는 온도차가 있을 것으로 판단되며 COD는 550℃에서 22%, 650℃에서 29%, 740℃에서 50%가 각각 제거되어 반응온도가 높을 수록 처리율이 향상됨을 알 수 있다. BOD는 550℃에서 20.4%, 650℃에서 25.9%, 740℃에서 52.0%가 각각 제거되어 COD와 유사한 처리율을 보였다. T-N은 550℃에서 8%, 650℃에서 28%, 740℃에서 33%가 각각 제거되어 반응온도가 높을 수록 처리율이 향상됨을 알 수 있다. 그러나 노즐 직경이 작은 Multi-Ejector의 운전결과와 비교시에는 대체로 낮은 운전효율을 보였다.

Table 3-21.(a) Single-Ejector 테스트(유기물류)

시료		pH	TS (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
원수		7.64	13,113.3	3,400	16,150	19,000
550℃	산화조	8.39	12,913.3	3,900	12,860	14,750
	DSM탈수 기 통과액	8.54	12,573.3	3,000	12,432	13,950
650℃	산화조	8.45	13,096.7	2,200	11,960	13,440
	DSM탈수 기 통과액	8.56	12,560	2,180	11,630	13,310
740℃	산화조	8.4	8,042	2,399	7,730	9,517
	DSM탈수 기 통과액	8.5	6,762	1,919	7,363	8,954

Table 3-21.(b) Single-Ejector 테스트(영양염류)

시료		T-N(mg/L)	NH ₃ -N(mg/L)	T-P(mg/L)
원수		2,385	2,118	167
550℃	산화조	2,210	1,823	136
	DSM탈수 기 통과액	2,200	1,540	136
650℃	산화조	1,725	1,466	131
	DSM탈수 기 통과액	1,711	1,455	126
740℃	산화조	1,596	1,389	114
	DSM탈수 기 통과액	1,561	1,370	114

라) Multi-Ejector와 Single-Ejector의 병용 테스트

다음 Table 3-22(a). 와 Table 3-22.(b) 는 고온산화반응조에서의 산화용 Multi-Ejector와 Single-Ejector의 병용 테스트를 한 결과이다. Multi-Ejector의 노즐 막힘 현상을 개선하면서 동시에 처리율을 향상시키기 위하여 Multi-Ejector와 Single-Ejector를 동시에 병렬로 설치하였다. 돈분뇨폐수와 Perlite를 산화용 Multi-Ejector와 Single-Ejector를 장착한 상태에서 유입원수 수온은 18℃로 Perlite를 소량 첨가한 상태에서 Furnace 온도 630℃에서 반응시킨 후 분석결과를 나타낸 것이다. 후공정에 설치되어 있는 Perlite Tower와 A/C Tower 까지 통과한 처리수의 수질을 나타내었다. COD는 630℃에서 운전시 산화조반응후 40%, DSM 탈수기 통과시 41.6%, Perlite Tower 처리시 83%, 그리고 A/C Tower 처리시 97%의 제거율을 각 보였다. BOD는 630℃에서 운전시 산화조반응후 38.7%, DSM 탈수기 통과시 40.0%, Perlite Tower 처리시 83%, 그리고 A/C Tower 처리시 97.1%의 제거율을 각 보였다. T-N은 630℃에서 운전시 산화조반응후 18%, DSM 탈수기 통과시 19%, Perlite Tower 처리시 65%, 그리고 A/C Tower 처리시 80%의 제거율을 각 보였다. 동일 온도비교시 산화용 Single-Ejector로 운전한 것 보다는 높은 처리율을 보였으나 앞에서 적용한 산화용 Multi-Ejector로 운전반응온도가 높을 수록 처리율이 향상됨을 알 수 있다. 그러나 노즐 직경이 작은 Multi-Ejector의 운전결과와 비교시에는 대체로 낮은 운전효율을 보였다.

돈분뇨폐수 및 Perlite의 혼합액을 고액분리하기 위하여 DSM탈수기를 제작하였었는데 돈분뇨 및 오·폐수를 MAIN SCREEN에 투사함으로서 SCREEN의 MESH에 맞는 크기 및 액만 통과시키고 나머지는 폐기 또는 재 순환 가능한 시스템이다. Perlite의 규격을 앞의 Table 3-5. 에 나타내었는데 DSM 탈수기는 MAIN SCREEN의 MESH가 75 μ m 임을 감안할 때 DSM탈수기유입, DSM 걸린액 및 DSM 통과액의 TS 농도 비교시 축산폐수처리과정에서 조대고형물질제거등에 상당한 역할을 하고 있음을 알 수 있다. DSM 탈수기(75 μ m)외에도 Dehydrator 탈수기(20 μ m) 및 캔들 필터(5 μ m)등이 이후의 공정에 설치되어 있으므로 운전조건에 따른 적절한 처리가 가능할 것으로 예상된다.

Table 3-22.(a) Multi-Ejector와 Single-Ejector의 병용 테스트(유기물류)

시료		pH	TS (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
원수		8.1	12,720	1,800	16,610	18,750
630℃	산화조	8.7	7,510	940	10,170	11,200
	DSM 통과액	8.8	7,196	650	9,960	10,950
Perlite Tower 후		8.31	3,138	610	2,830	3,250
A/C Tower 후		8.1	2,060	120	430	480

Table 3-22.(b) Multi-Ejector와 Single-Ejector의 병용 테스트(영양염류)

시료		T-N(mg/L)	NH ₃ -N(mg/L)	T-P(mg/L)
원수		2,315	2,250	82
630℃	산화조	1,905	1,863	78
	DSM 통과액	1,887	1,858	79
Perlite Tower 후		810	985	42
A/C Tower 후		455	535	21

마) Perlite 부산물

다음 Table 3-23.에 Perlite 부산물의 비료성분을 기존 처리장의 주정오니, 하수오니, 분뇨잔사와 분석 비교한 결과를 나타내었다. Perlite 부산물의 경우 유기물(C) 함량은 61.9%로서 주정오니의 62.7%와 하수오니의 72.9%와 유사하였고 부산물비료 비료공정 규격의 함유하여야 할 주성분의 최소량 유기물 25%를 만족하였다. 질소(N) 함량은 7.4%로서 주정오니의 4.0%와 하수오니의 2.3%보다 조금 많이 함유하고 있었다.

Table 3-23. Perlite 부산물의 비료성분 분석 비교

분석항목	분석결과	비교		
		주정오니*	하수오니*	분뇨잔사*
수분 (%)	35.1	63.7	72.9	57.7
유기물(C) (%)	61.9	62.7	50.0	61.5
질소(N) (%)	7.4	4.0	2.3	2.7
인산(P) (%)	0.05	1.2	2.8	6.9
加里(K) (%)	0.37	1.0	0.4	0.3
칼슘(Ca) (%)	0.1	1.3	2.4	2.2
마그네슘(Mg) (%)	0.11	0.4	0.5	2.7
나트륨(Na) (%)	0.36	0.4	0.5	0.1
철(Fe)(mg/kg)	0.03 (%)	8119	10899	8923
망간(Mn)(mg/kg)	60.8	1035	667	514
구리(Cu)(mg/kg)	1.5	128	1015	138
아연(Zn)(mg/kg)	15.9	382	1152	937

(비고는 농업과학기술원 자료)

다음 Table 3-24. 에 부산물비료 비료공정 규격을 나타내었다. 비료의 종류는 퇴비와 분뇨잔사인데 함유하여야 할 주성분의 최소량은 유기물 25%이다. 함유할 수 있는

유해성분에는 비소 50mg/kg, 카드뮴 5mg/kg, 수은 2mg/kg, 납 150mg/kg, 크롬 300mg/kg, 구리 500mg/kg 등인데 유기물대 질소의 비는 50이하가 되어야 한다. 그리고 분뇨잔사의 경우 습식산화잔사 이외 처리물은 기생충 감염여부에 대한 시험을 실시하여야 한다.

Table 3-24. 부산물비료 비료공정 규격(1998. 10.)

비료 종류	함유하여야 할 주성분의 최소량	함유할 수 있는 유해성분의 최대량	기타 규격
퇴 비 분뇨잔사	유기물 25 %	비소 50mg/kg 카드뮴 5mg/kg 수 은 2mg/kg 납 150mg/kg 크 롬 300mg/kg 구 리 500mg/kg	- 유기물대 질소의 비 50이하인 것 - 퇴비 : 염분 1.0% 이하 - 분뇨잔사 : 습식산화잔사 이외 처 리물은 기생충 감염여 부에 대한 시험을 실시 하여야 함

perlite의 돈분뇨폐수중 유기물의 처리정도를 알아보기 위하여 perlite의 함수율과 강열감량을 분석하여 다음 Table 3-25. 에 나타내었다. 새제품 perlite는 강열감량이 0.66%로 원시료에 거위 유기물을 포함하지 않고 있음을 알 수 있었고 강제부유공정을 거친 처리된 perlite는 탈수공정을 거친 상태에서 75.3%의 함수율을 보였고 강열감량은 68%로서 이것의 상당부분이 유기물함량을 나타냄을 추정할 수 있다.

Table 3-25. perlite의 강열감량 비교

구분	new perlite	treated perlite
함수율	0.47%	75.3%
강열감량	0.66%	68.0%

처리된 perlite 복합체를 부산물비료로 활용하기 위한 평가의 일환으로 유기물 흡

작능력을 알아보기 위해 용출시험을 폐기물공정시험법에 의하여 반복 실시하였다. 본 실험에 사용된 용출실험은 국내 폐기물공정시험법에 의해 수행하였다. 다음 Fig. 3-56. 에 국내 폐기물공정시험법의 용출시험방법을 나타내었다.

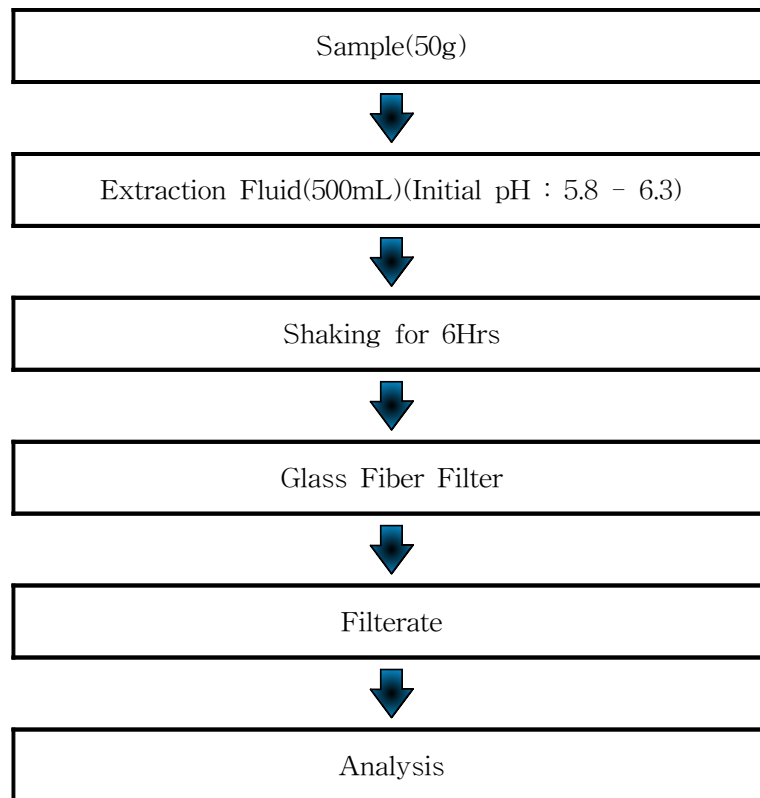


Fig. 3-56. 국내 폐기물공정시험법의 용출시험방법

다음 Table 3-26. 에 국내 폐기물공정시험법의 용출시험방법에 의한 용출시험결과를 나타내었다. 용출시험결과 COD는 1회 220ppm, 2회 122ppm, 3회 81ppm이었는데 이때의 COD는 용해성 COD로서 시험의 반복에 따라서 농도가 서서히 감소해 가는 것에서 부산물비료로 시비하였을 때 그 효과가 오랫동안 지속될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3-26. 용출시험결과

구분	용출시험 1회	용출시험 2회	용출시험 3회
COD(mg/L)	220	122	81

돈분뇨폐수처리공정에서 생산된 부산물인 돈분처리 perlite를 평가하기 위하여 SEM 분석을 실시하였다. 다음의 Fig. 3-57.(a)은 new perlite 시료(700배 확대), Fig. 3-57.(b) 는 perlite-돈분처리 시료(700배 확대), Fig. 3-57.(c) 는 perlite-돈분처리후 2회 용출시험시료(700배), Fig. 3-57.(d) 은 perlite-돈분처리후 600℃에서 강열감량시험 시료(2,000배)를 각각 나타내고 있다. perlite의 원석은 화성암의 석영조면암의 일종인데 Fig. 3-57.(a) 에서 perlite가 내부에 다수의 기포를 가진 유리질의 입상체임을 확인할 수 있다. Fig. 3-57.(b) 에서는 perlite 내부 미세공극에 다량의 돈분뇨 성분이 흡착되어 있고 Fig. 3-57.(c) 에서는 perlite-돈분처리 시료가 용출시험의 진탕과정을 거치면서 흡착질 상당량이 제거되어 있으며 Fig. 3-57.(d) 에서는 600℃의 고온에서의 반응을 거치면서 흡착질 대부분이 소멸되었음을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 흡착부유공정을 거치면서 돈분뇨폐수가 perlite와의 반응에 의하여 처리되었음을 확인할 수 있다.

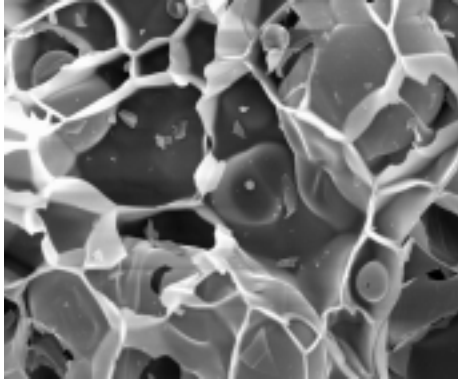


Fig. 3-57.(a) new perlite 시료(700배 확대)

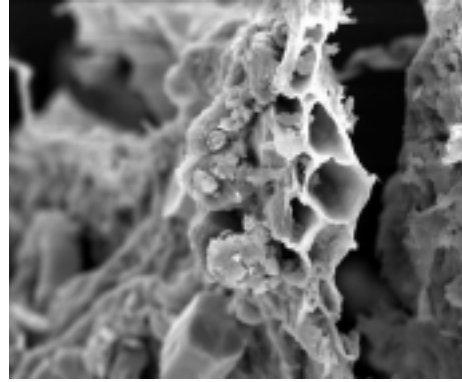


Fig. 3-57(b)perlite-돈분처리 시료
(700배 확대)

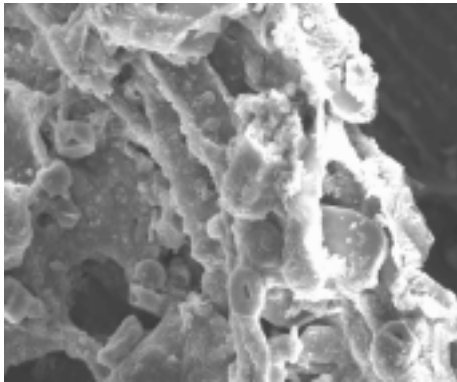


Fig. 3-57.(c) perlite-돈분처리후 2회 용출시험
시료(700배)

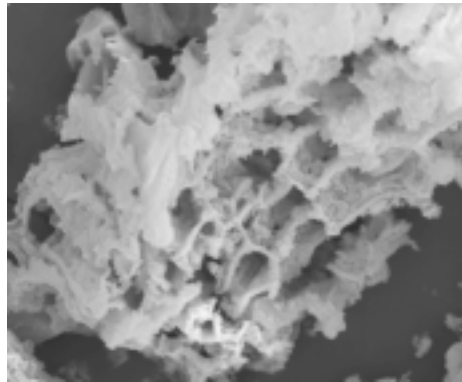


Fig. 3-57.(d) perlite-돈분처리후 600℃
강열감량시험 시료(2,000배)

라. 운전조건 개선을 위한 검토사항

1) 계면활성제

가) 계면활성제의 개요

계면활성제는 표면 및 계면에 흡착하여 그 성질을 바꾸는 것이기에 표면이나 계면의 성질이 문제가 될 경우에 큰 효과를 나타내는데 perlite에 의한 흡착능을 개선하기 위하여 계면활성제를 검토하였다. 계면활성제는 표면 및 계면에 흡착하여 그 성질을 바꾸는 것이기 때문에 표면 또는 계면의 성질이 문제가 될 경우 효과를 발휘한다. 표면이나 계면의 면적이 큰 콜로이드계에서 계면활성제는 그 효과가 특히 크며 여기서 콜로이드는 매체속에 미립자가 균일하게 분산된 계로서 대표적인 콜로이드는 크기가 $1\mu\text{m}$ 보다 작은 입자콜로이드이다. 분산입자와 분산매의 비중의 차로부터 입자의 침강 또는 부상이 진행되는데 분산입자가 고체 또는 액체에서 분산매와 분산입자의 계면에 계면활성제가 흡착되면 분산계는 안정화된다. 계면활성제는 특수한 화학구조를 갖고 소수성표면에 흡착하여 표면의 성질을 변화시키게 되는데 여러종류의 소수성물질의 표면을 겹보기에 물에 대한 친수성을 크게 하여 물에 부화 분산하기 쉽게 한다.

계면활성제는 연속성이 있는 물질로서 계면사이에서 서로 미셀로서 이루어져 흡착되며 저농도에서도 계면의 성질을 변화시킬 수 있는데 물에 중량비로 0.01 ~ 0.5% 범위에서도 충분한 효과를 나타낼 수 있다. 계면활성제의 흡착은 계면사이의 성질인 표면장력, 계면장력, 표면전하밀도, 표면밀도 및 표면탄성등을 변화시킨다. 계면활성제는 분자구조로 분류하면 한 분자내에 적어도 하나 이상의 소수성부분과 친수성부분으로 구성되며 보통 수백의 분자량을 가지고 많이 사용되는 소수성부분은 탄소수 8 ~ 22개의 탄화수소의 집단이다. 친수성부분은 카르복실기, 술폰산기, 황산에스테르기, 인산에스테르기, 사급암모늄기, 폴리옥시에틸렌 및 다가 알콜류가 있다. 수천~수만의 분자량을 갖는 것으로는 소중합체로서 예를들면 포르말린이 축합되어 나프탈렌술폰산염이 되는 혼성축합중합과 자연에서 생성되는 폴리삭카라이드나 말레인산 올레핀의 혼성중합체의 형태가 있다. 이들 계면활성제의 소수성부분이 선형중하부조를 가지므로 많은 흡착부분이 생겨나서 계면이나 표면에 흡착하게되며 계면에서의 흡착량은 물의 용해성과 관계 있다. 계면활성제 분자가 미셀을 형성할때의 농도를 임계미셀농도(cmc)라 하며 계면활성제 수용액의 부화력, 분산력 및 세정력등은 농도가 임계미셀농

도에 이를때까지 증가한다.

계면활성제의 응용범위는 매우 다양한데 섬유산업, 제지산업, 농약과 비료공업, 의약품과 화장품, 세제공업등 산업전반에 걸쳐 응용되고 있다. 계면활성제의 화학적 성향은 각각의 기초적성질에 기인하는데 흡착성, 방향성, 미셀형성성, 표면장력저하능, 화학적성질등이 있다.

나) 계면활성제 분석

계면활성제는 물이나 다른 용매에 용해되어 용액물성을 나타내며 이를 분석하기 위한 수많은 방법이 존재하지만 기본전제는 계면활성제의 흡착특성을 분석하는 것과 계면활성제 자체의 농도를 분석하는 것이다. 다음 Table 3-27. 에 계면활성제의 흡착 측정법과 일반적인 환경분석법을 간단히 정리하였다.

Table 3-27. 계면활성제 분석법

항목	개요	분리기술	정성·정량분석
계면활성제 흡착측정법	-고체표면의 흡착량 측정	-흡착매 표면 세정 후 흡착 실험	-용질의 중량 측정
일반적인 분석	-다른 응용분야에서 사용하는 방법 원용	-용매소부레이손 -액체·액체 추출 -액체·고체 추출 -고체상 추출	-표면장력측정 -TOC로 전체 유기 탄소를 측정
음이온계면활성제	-LAS의 환경적영향	-메틸렌블루활성물 질을 기본으로 하는 분광광도법 -액체·액체 추출 -액체·고체 추출 -고체상 추출	-크로마토그래피 -분광법
비이온성계면활성제	-생분해된 생성물의 분석	-고체상 추출 -액체 추출 -수증기 증류	-크로마토그래피 -분광법 -적정
양이온성계면활성제	-고체의 친화성이 분석에 장애가 됨	-이온교환 -용매 sublation	-HPLC -분광기

다) 계면활성제의 성능 TEST

계면활성제의 성능 TEST를 위하여 다양한 chemical을 선정하여 돈분뇨폐수의 처리를 위한 적용 TEST를 수행할 필요가 있으며 간단한 실험결과를 소개하면 다음과 같다. NaOCl을 농도를 달리하며 첨가하여 교반을 시킨 후 T-N과 T-P를 분석하면 NaOCl의 주입량의 증가에 따라서 농도가 감소하는 경향을 보이고 있다. 부유흡착반응에서 주입 또는 후처리공정에서 주입등 chemical의 주입지점을 달리하여 실험해야 할 필요가 있으며 농도뿐만 아니라 Perlite의 흡착능 변화등도 함께 고려되어야 한다.

(1) 실험조건

- 돈분뇨폐수를 계면활성제로 처리
- NaOCl 각 0.1%, 0.5%, 1%, 5% 첨가
- Jar-Test를 이용 급속교반 150RPM-5mim, 완속교반 40RPM-15mim

(2) 실험결과

다음 Table 3-28.에 실험결과를 나타내었다. NaOCl을 농도를 달리하며 첨가하여 교반을 시킨 후 T-N과 T-P를 분석하면 NaOCl의 주입량의 증가에 따라서 농도가 감소하는 경향을 보인다. 돈분뇨폐수 원수의 T-P는 100.9mg/L이었으나 NaOCl 0.1%를 첨가할 경우 7%, NaOCl 0.5%를 첨가할 경우 11%, NaOCl 1.0%를 첨가할 경우 14%, 그리고 NaOCl 5%를 첨가할 경우 22%의 제거율을 보였다. 돈분뇨폐수 원수의 T-N은 2766.6mg/L이었으나 NaOCl 0.1%를 첨가할 경우 8%, NaOCl 0.5%를 첨가할 경우 18%, NaOCl 1.0%를 첨가할 경우 21%, 그리고 NaOCl 5%를 첨가할 경우 27%의 제거율을 보였다. 가온을 하지 않은 실온상태에서 NaOCl과 반응을 시킨 관계로 높은 처리율을 보이지는 않았다. 그러나 고온산화 반응의 가온된 상태에서 계면활성제를 주입하여 운전할 경우에는 보다 높은 효율을 얻을수 있을 것으로 예상된다. 다음 Fig. 3-58. 에 돈분뇨폐수의 NaOCl 반응에 의한 분해 특성으로서 NaOCl 첨가량에 따른 각 성분의 잔존율을 나타냈다. NaOCl의 주입량의 증가에 따라서 농도가 감소하는 경향을 보이는데 많은 양의 약품을 주입하는 것은 바람직하지 않으므로 Fig 상의 첫 변곡점인 0.5% 정도 이하의 NaOCl을 주입하여 처리율을 향상시키는 것이 바람직하리라 판단된다.

Table 3-28. 돈분뇨폐수의 NaOCl에 의한 분해 특성

시료	pH	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)
돈분뇨폐수 원수	7.8	100.9	2766.6	2486.7
NaOCl 0.1% 첨가	7.8	93.2	2543.7	2250.7
NaOCl 0.5% 첨가	7.9	89.8	2263.6	2183.5
NaOCl 1% 첨가	7.9	86.7	2185.5	2024.0
NaOCl 5% 첨가	8.4	78.9	2027.8	1974.1

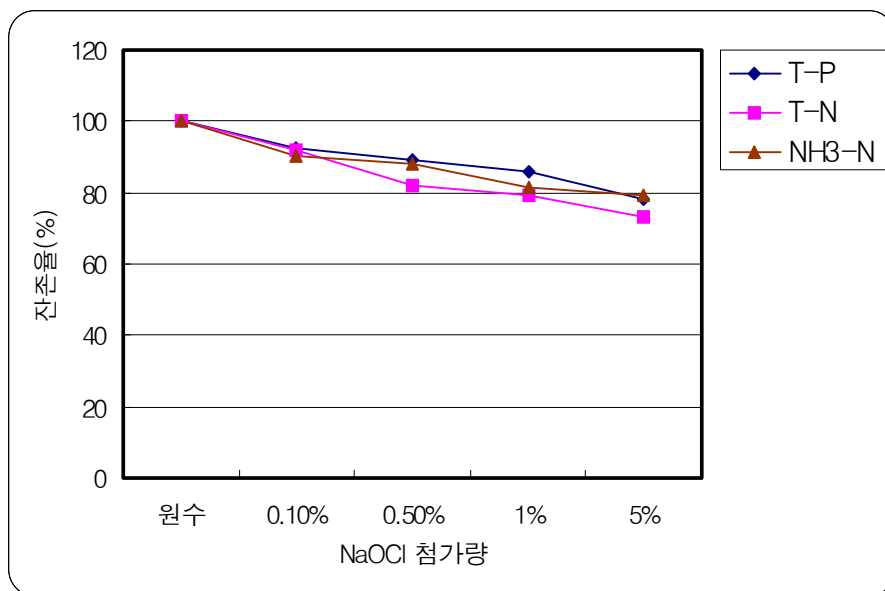


Fig. 3-58. 돈분뇨폐수의 NaOCl 반응에 의한 분해 특성

2) 돈분뇨처리시 위생학적 영향

최근 우리나라의 급격한 경제성장과 함께 국민소득이 높아지고 식생활이 개선됨에 따라 축산물의 소비가 증가되고 있으나, 산업의 고도화에 따라 중화학 공업이 발달하

면서, 공장폐수로 인한 주변 양축농가의 용수에 미치는 영향에 대한 문제가 대두되고 있는 실정이다. 본 시험은 돈분뇨폐수의 처리 및 방류시 거의 대부분이 지하수를 이용하는 양돈장 인근 용수의 수질에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 수행하였다. 일반세균과 대장균군의 평균수준을 비교해 보면 환경 오염 지역의 양돈장 용수가 환경 오염 의심지역의 수준에 비해서 유의적으로 높은 경향을 보일 것으로 예상된다.

오수, 분뇨, 강물등에는 *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacteria*, *Micrococci* 등 여러 종류의 미생물이 존재한다. 수자원의 이용 가능 여부를 판단하기 위해 세균학적 관점에서 장티푸스, 콜레라, 세균성이질등을 일으키는 장내병원균의 오염여부를 조사할 필요가 있다. 물은 기본적으로 장내 세균의 서식처가 아니기 때문에 물에서 이들 장내세균이 검출된다는 것은 물이 인간이나 가축의 배설물에 의하여 오염되었음을 의미한다. 공중위생학적 관점에서 coliform 세균의 존재 유무를 조사하는 방법으로 최적확수시험법, 막여과시험법, 평판집락시험법등이 있다.

가) 대장균군 시험법(최적확수 시험법)

(1) 일반사항

일반적으로 미생물 시험에 있어서 유의할 점은 검체중에 함유된 미생물의 상황이 시시각각으로 변할 수가 있으며, 처음 검체중에 함유되어 있던 미생물 외의 다른 미생물오염이 조작중에 일어날 수 있다는 점이다. 이러한 실험상의 오염을 방지하기 위하여 모든 조작은 원칙적으로 무균조작을 하여야 하며, 동시에 실험실내의 청결을 유

지하여야 한다.

(2) 측정원리

일반적으로 미생물 시험에 있어서 유의할 점은 검체중에 함유된 미생물의 상황이 시시각각으로 변할 수가 있으며, 처음 검체중에 함유되어 있던 미생물 외의 다른 미생물오염이 조작중에 일어날 수 있다는 점이다. 이러한 실험상의 오염을 방지하기 위하여 모든 조작은 원칙적으로 무균조작을 하여야 하며, 동시에 실험실내의 청결을 유지하여야 한다.

대장균균이라 함은 그람음성·무아포성의 간균으로서 유당을 분해하여 가스 또는 산을 발생하는 모든 호기성 또는 통성 혐기성균을 말한다. 시료를 유당이 포함된 배지에 배양할 때 대장균균이 증식하면서 가스를 생성하는데 이때의 양성 시험관수를 확률적인 수치인 최적확수로 표시하는 방법이며, 그 결과는 MPN/100 ml의 단위로 표시한다.

(3) 시험방법

대장균균의 정성시험은 추정시험, 확정시험 및 완전시험의 3 단계로 나눈다. 다음의 Fig. 3-59. 에 대장균균 시험법(최적확수 시험법)을 정리하여 나타내었다.

발효관에 의한 대장균균 시험법은 일정량의 희석액중에 1 개 이상의 대장균균의 유무를 결정하는 정량적인 시험이다. 정량적 시험법은 동일 희석도의 것을 각각 5 개씩 시험하여 대장균균 양성인 발효관수를 계산하여 확률적으로 그 수치를 최적확수란 이론상 가장 가능한 수치를 말한다. 10, 1, 0.1 …………… ml씩을 5 개씩 실험하여 상기 실험방법에 따라 양성 여부를 결정한다. 이때 희석액은 그 최대량을 가한 것의 전부 또는 대다수의 양성이고, 최소량을 이식한 발효관의 대다수가 음성이 되도록 적당히 희석하여 사용한다. 이와 같이 하면 대장균균수는 전기의 양자사이에 걸친 희석단계에 의하여 대체로 결정된다. 중간부분 즉, 수적근거가 얻어지는 부분의 양성 발효관수가 충분히 있도록 계획하지 않으면 아니된다. 시험결과에 의한 대장균균수는 최적확수표에 의하여 결정한다.

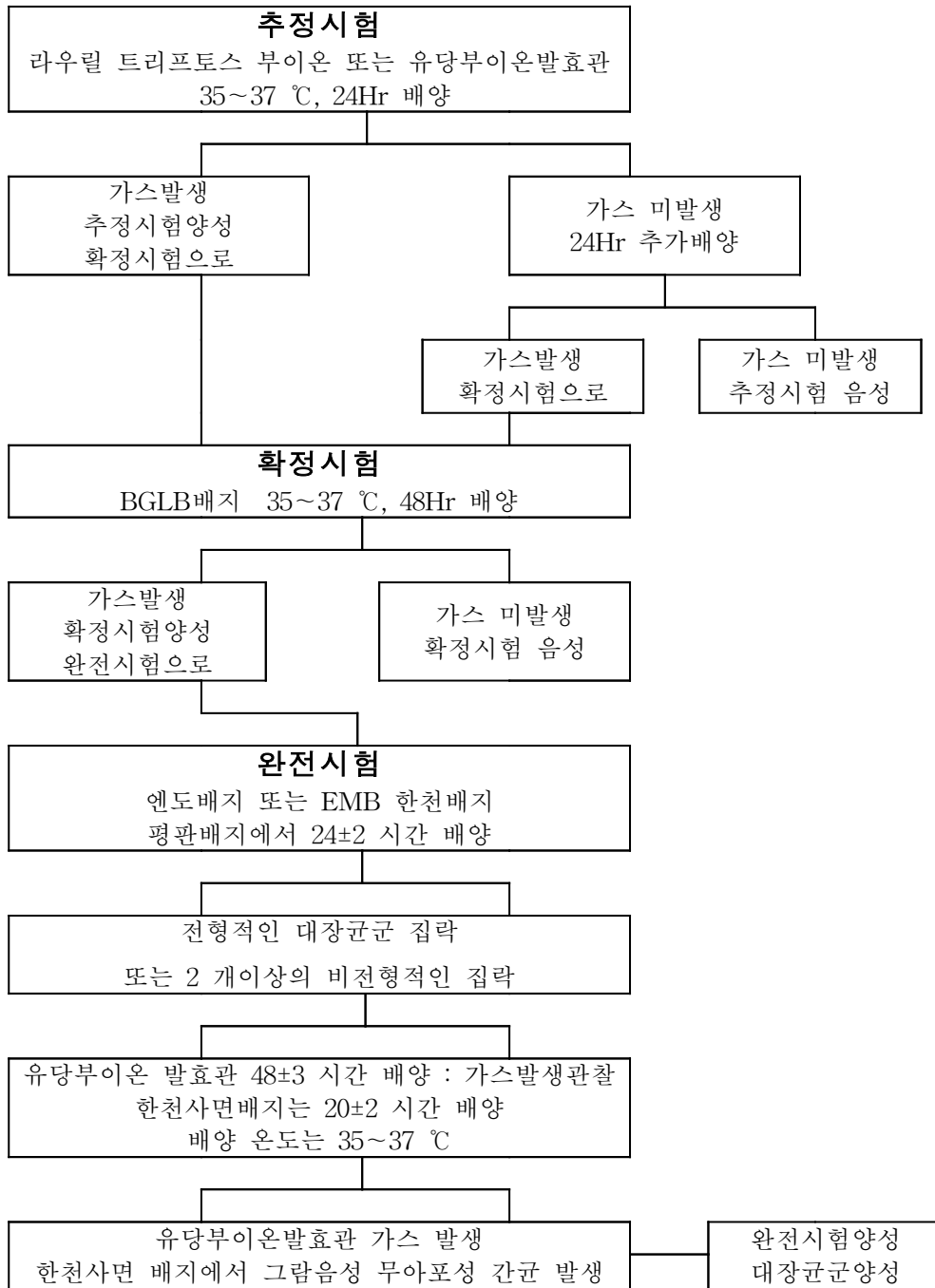


Fig. 3-59. 대장균균 시험법(최적확수 시험법)

다음 Table 3-29. 에 미생물과 관계되는 수질기준을 나타내었다. 여러 가지의 수질 환경기준이 있으나 이중 먹는물 수질기준, 하천 수질기준, 호소 수질환경기준, 지하수 수질기준, 해역 수질기준을 대상으로 일반세균과 대장균에 대한 기준을 나타내었다. 먹는물 수질기준에서는 일반세균은 100/mL 이하여야 하고 대장균은 50mL중 검출되어서는 안된다. 하천 수질기준과 호소 수질환경기준에서는 상수원수1급과 자연환경보전지역에서는 대장균이 50이하여야 하고 상수원수2급과 수계용수에서는 1,000이하 그리고 상수원수3급과 농업용수1급에서는 5,000이하 이지만 농업용수2급 및 농업용수에서는 별도의 대장균 기준이 마련되어 있지 않다. 한편 지하수 수질기준에서도 대장균 기준은 명시되어 있지 않지만 위에서도 언급되었듯이 본 시험은 돈분뇨폐수의 처리 및 방류시 거의 대부분이 지하수를 이용하는 대규모 축산단지 인근 용수의 수질에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 수행하였다. 본 연구에서 개발한 장비는 중소규모 축산 농가에서 시운전 가능한 시설이기에 축산폐수 처리 후 처리수 방류시 환경위생적인 면을 고려할 필요성이 있다.

Table 3-29. 미생물과 관계되는 수질기준

수질환경기준	수질기준항목	
	일반세균	대장균(MPN/100)
먹는물 수질기준	100/mL	50mL 중 불검출
하천 수질기준		상수원수1급, 자연환경보전 : 50이하 상수원수2급, 수계용수 : 1,000이하 상수원수3급, 공업용수1급 : 5,000이하 공업용수2급, 농업용수 : - 공업용수3급, 생활환경보전 : -
호소 수질환경기준		상수원수1급, 자연환경보전 : 50이하 상수원수2급, 수계용수 : 1,000이하 상수원수3급, 공업용수1급 : 5,000이하 공업용수2급, 농업용수 : - 공업용수3급, 생활환경보전 : -
지하수 수질기준		생활용수 : 5,000이하 농업용수 : - 공업용수 : -
해역 수질기준		I 등급 : 200이하 II 등급 : 1,000이하 III 등급 : -

나) 돈분뇨폐수의 대장균균 시험

*Escherichia coli*는 사람과 동물의 장내에 기생하는 미생물균이다. 자연수에서의 검출은 물의 분변성 오염의 지표가 되는데 소화기 전염병 등의 병원균에 오염되어 있다고 확정할 수는 없지만 대장균균의 오염은 식품안전의 지표로서 중요한 의미가 있다. 대부분의 대장균은 열에 약함으로 65℃에서 5분, 70℃에서 2분, 75℃에서 수초면 사멸하기에 음식물등을 익혀 먹으면 안전하지만 대장균과의 접촉에 의한 감염을 조심할 필요가 있다.

대장균균 시험은 두가지로 진행하였다. 첫째, 돈분뇨원수를 20℃, 40℃, 60℃, 80℃, 100℃로 각각 변화시킨 가운데 각각의 온도에서 30분의 체류시간을 가하는 방식으로 진행하였다. 둘째, 고온산화반응조에서 반응이 종료된 처리수를 대상으로 대장균 시험을 진행하였다. 대장균 테스트 결과를 다음 Table 3-30. 에 나타내었다.

Table. 3-30. 대장균수 테스트 결과

시료	돈분뇨 원시료 검액량	양성시험관수						대장균수 (MPN/100)
		1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	
각 온도 단계별 테스트								
20℃	0.1mL		5	5	4	0		13,000,000
40℃	0.1mL		5	5	1	0		3,000,000
60℃	1mL		5	5	4	0		1,300,000
80℃	1mL	0	0	0	0			0
100℃	1mL	0	0	0	0			0
고온산화반응조 테스트								
산화조1	1mL	5	4	0	0			1300
산화조2	1mL	5	0	0	0			230

Table은 각 온도 단계별 테스트 결과와 고온산화반응조 테스트 결과를 각각 보이고 있다. 각 온도 단계별 테스트 결과에서는 돈분뇨폐수의 실온인 20℃ 근방에서는 13,000,000 이었으나 대장균의 사멸가능한 온도인 60℃에서는 1,300,000으로 감소했고 80℃ 이후에는 전혀 검출되지 않았다. 고온산화반응조 테스트에서는 두 번의 테스트에서 대장균수(MPN/100)이 1,300과 230으로 각각 나타났는데 이는

고온산화반응조에서 돈분뇨폐수가 고온의 가스와 반응시 수온온도가 80℃ 정도로 유지되었고 처리수와 부가적으로 발생하는 Perlite 부산물이 환경위생적으로 큰 위해성이 없음을 나타낸다.

4. 축산폐수처리시스템 최적화 방안

가. 축산폐수처리 관련 법규 검토

오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한법률은 오수·분뇨 및 축산폐수를 적정하게 처리하여 자연환경과 생활환경을 청결히 하고 수질오염을 감소시킴으로써 국민보건의 향상과 환경보전에 이바지함을 목적으로 하고 국가는 분뇨 및 축산폐수의 처리에 대한 기술을 연구 개발 지원하고 지방자치단체의 책무가 이행되도록 필요한 기술적 재정적 지원 및 사업에 대한 조정의 책무를 갖는다. 오수정화시설, 정화조, 분뇨처리시설, 축산폐수정화시설 및 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준은 총리령으로 정하되 특별 대책지역에 대하여는 수질오염방지를 위하여 필요한 경우 엄격한 기준을 정하여 시행해야한다. 분뇨처리시설 및 축산폐수공공처리시설의 방류수수질기준은 Table 2-8. 에 나타내었다. 축산폐수공공처리시설의 경우 방류수 수질기준은 BOD 30mg/L이하, COD 50mg/L이하, 부유물질량 30mg/L이하, 대장균군수(개수/mg) 3,000이하이며 기타항목으로 총질소 60이하와 총인 8이하이다.

자가처리 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준은 Table 2-9. 에 나타내었는데 다음에서 다시 정리하였다. 또한 처리지역을 구분할 목적으로 오수분뇨및축산폐수의 처리에 관한 법률과 관련한 시행령을 정리하였다. 2000. 1. 1.부터 적용되는 개정된 수질기준에서는 종전에 누락되었던 특정지역에서의 총질소와 총인 항목이 추가되었고 수질기준도 전체적으로 강화되었다. 축산폐수배출시설의 설치허가를 받은자가 설치한 축산폐수처리시설에서의 생물화학적산소요구량과 부유물질량은 특정지역의 경우 50mg/L 이하로 축산폐수배출시설의 설치신고를 한 자가 설치한 축산폐수처리시설에서는 150mg/L 이하로 기준이 강화되었다. 축산폐수배출시설의 설치허가를 받은 자가 설치한 축산폐수처리시설의 경우 특정지역에서 총질소는 260mg/L이하이고 총인은 50mg/L이하로 수질기준이 정해졌고 축산폐수배출시설의 설치신고를 한 자가 설치한 축산폐수처리시설에서는 총질소와 총인에 대한 별도의 기준은 마련되어 있지 않다. 기타지역의 경우 축산폐수배출시설의 설치허가를 받은자가 설치한 축산폐수처리시설에서의 생물화학적산소요구량과 부유물질량은 특정지역의 경우 150mg/L 이하로 축산폐수배출시설의 설치신고를 한 자가 설치한 축산폐수처리시설에서는 350mg/L 이하로 특정지역에 비하여 기준이 낮게 설정되어있다.

특정지역은 오수분뇨및축산폐수의 처리에 관한 법률 시행령 제2조의2 【오수처리대

책지역】에서 수도법 제3조제15호의 규정에 의한 취수시설로부터 유하거리 4킬로미터 이내의 상류지역과 동법 제5조의 규정에 의한 상수원보호구역과 환경기준이 환경정책 기본법시행령 별표 1의 규정에 의한 I 등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 고시하는 지역인데 이들 지역에는 엄격한 수질기준이 적용되고 있으며 이에 축산폐수배출시설의 설치 또한 용이하지 않으리라 판단된다.

축산폐수배출시설중 허가대상 돼지사육시설은 면적 1,000㎡이상으로 다만 수질보전특별대책지역 등에서는 면적 500㎡이상이고, 신고대상 돼지사육시설은 면적 50㎡이상 1,000㎡미만, 다만, 수질보전특별대책지역 등에서는 면적 50㎡ 이상 500㎡ 미만으로 되어 있다. 사육두수는 오염물질 채취일 당시 오염물질을 배출하는 축산폐수배출시설에서 실제로 사육하고 있는 가축두수를 말하는데, 가축두수 산정시에는 가축의 연령에 관계없이 1두로 산정한다. 다만, 실제 가축두수의 산정이 불가능하거나 산정한 가축두수가 실제 가축두수와 현저한 차이가 있다고 인정되는 경우에는 축산폐수배출시설 및 축산폐수처리시설 관리일지상의 시료채취일 직전 최근 30일간 사육한 평균 가축두수로 산정할 수 있는데 돼지의 배출원단위는 8.6L/두·일 인데 1000두를 사육시 하루 약 9톤의 돈분뇨폐수가 발생한다.

본 연구에서 개발한 축산폐수처리시스템의 경우 처리가능한 돼지 사육두수는 5,000두 정도로서 일 최대 50톤/일의 규모로 운전가능한 시설이며 기본적으로는 중소규모의 축산농가에서 적용가능하며 축산폐수처리 공공처리시설에서도 단위공정으로 설치가능할 것으로 예상한다. 축산폐수처리시스템의 성능을 판단할 수 있는 법적 근거로는 2000. 1. 1.부터 적용하는 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준(자가처리 시설)이 적용 가능할 것이다.

Table 2-9. 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준

(2000. 1. 1.부터 적용하는 기준, 자가처리 시설)

구 분	항 목	축산폐수배출시설의 설치 허가를 받은 자가 설치한 축산폐수처리시설	축산폐수배출시설의 설치 신고를 한 자가 설치한 축 산폐수처리시설
	지 역		
특정지역	생물화학적 산소요구량 (mg/ℓ)	50이하	150이하
	부유물질량 (mg/ℓ)	50이하	150이하
	총 질 소 (mg/ℓ)	260이하	-
	총 인 (mg/ℓ)	50이하	-
기타지역	생물화학적 산소요구량 (mg/ℓ)	150이하	350이하
	부유물질량 (mg/ℓ)	150이하	350이하

비고 : 1. 이 표에서 특정지역은 영 제2조의2 제1호 내지 제7호 해당하는 지역 또는 구역으로 한다.

2. 다음 각목의 1에 해당하는 축산폐수배출시설의 설치신고를 한 자가 설치한 축산폐수처리시설의 방류수수질기준은 생물화학적 산소요구량 1,500mg/ℓ 이하로 한다.

가. 돼지 사육시설 : 면적 50㎡ 이상 140㎡ 미만

나. 소(젓소를 제외한다) 사육시설 : 면적 100㎡ 이상 200㎡ 미만

다. 젓소 사육시설 : 축사면적 100㎡ 이상 200㎡ 미만 또는 운동장 면적 300㎡ 이상 600㎡ 미만

라. 말 사육시설 : 면적 100㎡ 이상 200㎡ 미만

마. 닭·오리·양 사육시설 : 면적 150㎡ 이상 500㎡ 미만

바. 사슴 사육시설 : 면적 500㎡ 이상

○ 오수분뇨및축산폐수의 처리에 관한 법률 시행령

제2조의2 【오수처리대책지역】 법 제4조의3제1항에서 “대통령령이 정하는 지역”이라 함은 다음 각호의 1에 해당하는 지역을 말한다. 다만, 하수도법 제6조의 규정에 의한 인가를 받은 하수종말처리시설, 동법 제6조의2의 규정에 의한 협의를 마친 마을 하수도 또는 수질환경보전법 제26조의 규정에 의한 승인을 얻은 폐수종말처리시설로 오수를 유입시켜 처리하는 지역 또는 유입시켜 처리할 예정인 지역을 제외한다. (1999.8.6 신설)

1. 수도법 제3조제15호의 규정에 의한 취수시설로부터 유하거리 4킬로미터 이내의 상류지역과 동법 제5조의 규정에 의한 상수원보호구역
2. 환경정책기본법 제22조의 규정에 의한 상수원의 수질보전을 위한 특별대책지역
3. 한강수계상수원수질개선및주민지원등에관한 법률 제4조제1항의 규정에 의한 수변구역
4. 호소수질관리법 제7조제1항의 규정에 의한 호소수질보전구역
5. 자연공원법 제2조제1호의 규정에 의한 자연공원 및 동법 제25조의 규정에 의한 공원보호구역
6. 하수법 제12조의 규정에 의한 지하수보전구역
7. 환경기준이 환경정책기본법시행령 별표 1의 규정에 의한 I 등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 고시하는 지역
8. 습지보전법 제8조의 규정에 의한 습지보호지역·습지주변관리지역 및 습지개선지역
9. 해양오염방지법 제4조의4제1항의 규정에 의한 특별관리해역

나. 축산폐수처리시스템 운전결과

축산폐수처리시스템 운전결과 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준을 만족하기 위해서는 산화용 Multi Ejector를 장착한 상태에서 Furnace 650℃에서 반응시킨후 후처리공정인 Perlite Tower와 A/C Tower를 거칠 경우 가능할 것으로 예상된다. Table 3-18. 의 고온산화반응조에서의 고농도 돈분뇨폐수와 Perlite의 처리 결과와 Table 3-19. 의 고온산화반응조에서의 저농도 돈분뇨폐수와 Perlite의 처리 결과를 검토해보면 원수의 농도에 따라서 다르지만 산화반응만으로 BOD는 331mg/L, T-N은 136mg/L 의 농도를 보였다. Table 3-22.(a)(b) Multi-Ejector와 Single-Ejector의 병용 테스트 결과에서의 Perlite Tower와 A/C Tower 통과시 처리율 향상율을 감안하면 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준의 기타지역 기준은 충족 가능하며 특정지역 기준은 운전상의 고려가 필요하다고 판단된다.

산화용 Multi-Ejector Type의 운전상의 폐색문제등을 해결하기 위하여 Single-Ejector Type과 Multi-Ejector와 Single-Ejector를 병용하여 운전하였다. 운전결과를 Table 3-21.(a)(b) Single-Ejector 테스트와 Table 3-22.(a)(b) Multi-Ejector와 Single-Ejector의 병용 테스트에 나타내었는데 Single-Ejector Type만으로 운전하였을 경우에는 Furnace 온도 740℃에서 COD 50%, BOD 52%, T-N 33%가 각각 제거되어 Multi-Ejector Type의 운전결과와 비교시에는 대체로 낮은 운전효율을 보였다. Multi-Ejector와 Single-Ejector를 병용하여 Furnace 온도 630℃에서 운전한 결과는 산화반응조 반응후 COD 40%, BOD 38.7%, T-N 18%, SS 47.8가 각각 제거되었고 전공정을 거친 후에는 COD 97%, BOD 97.17%, T-N 80%, SS 93.3%의 제거율을 보였다. 처리수의 농도는 각각 COD 480mg/L, BOD 430mg/L, T-N 455mg/L, SS 120의 제거율을 보였다. 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준과 비교해보면 Single-Ejector Type과 Multi-Ejector와 Single-Ejector를 병용하여 운전한 결과는 기준치를 초과하고 있음을 알 수 있다.

앞의 Table 3-23.에 Perlite 부산물의 비료성분을 기존 처리장의 주정오니, 하수오니, 분뇨잔사와 분석 비교한 결과를 나타내었다. Perlite 부산물의 경우 유기물(C) 함량은 61.9%로서 주정오니의 62.7%와 하수오니의 72.9%와 유사하였고 부산물비료 비료공정 규격의 함유하여야 할 주성분의 최소량 유기물 25%를 만족하였다. 질소(N) 함량은 7.4%로서 주정오니의 4.0%와 하수오니의 2.3%보다 조금 많이 함유하고 있었다. Perlite 부산물의 비료화 방안을 검토한 결과 Perlite를 흡착제로 사용함으로써

perlite 자체의 토양 개량 능력과 함께 흡착된 유기화합물 및 질소, 인화합물을 영양원으로 활용이 가능하여 유기질 비료로서의 활용성이 매우 클 것으로 예상된다. 다음 Table 3-31. 에 전체 운전결과를 정리하여 나타내었다.

Table 3-31. 운전결과 종합

항 목		BOD 제거율(%)	COD 제거율(%)	T-N 제거율(%)	T-P 제거율(%)	SS 제거율(%)
Multi-Ejector Type						
고농도폐수 Furnace 650℃ 운전		94.1	93.6	89.9	-	-
저농도폐수 Furnace 650℃ 운전		95.5	96.8	61.6	-	-
Single-Ejector Type						
650℃	산화조	25.9	29.3	27.7	21.6	35.3
	DSM탈수 기 통과액	27.9	29.9	28.3	24.6	35.8
740℃	산화조	52.1	49.9	33.1	31.7	29.4
	DSM탈수 기 통과액	54.4	52.9	34.6	31.7	43.6
Multi-Ejector와 Single-Ejector의 병용 테스트						
630℃	산화조	38.8	40.3	17.7	4.9	43.8
	DSM탈수 기 통과액	40.0	41.6	18.5	3.7	63.9
	Perlite Tower 후	83.0	82.7	65.0	48.8	66.1
	A/C Tower 후	97.4	97.4	83.3	74.4	93.3

다. 향후 개선방안

운전효율을 향상시킬 방안으로 다음의 몇가지 사항들을 검토해 보았다.

- 1) 산화용 Ejector를 선정하되 노즐부분의 폐색을 예방하고 처리량을 늘리기 위하여 전처리용 세목스크린을 보강하고 산화용 Ejector를 여러개 병렬로 설치하도록 시스템을 개선하는 것을 검토해 볼 수 있다.
- 2) 질소제거율 향상을 위하여 기초실험에서 확인한 원수의 pH를 조정함으로서 pH 12에서 각각 운전시 최대 80℃에서 40%와 100℃에서 70%의 처리율을 얻을 수 있음을 감안하면 실제 이 정도의 pH 조정은 아니더라도 약간의 조정만으로도 수질기준 이내로의 처리는 가능할 것으로 예상한다.
- 3) 본 연구의 축산폐수처리시스템은 최초에는 처리수를 방류할 목적으로 개발하였는데 해당지역의 축산폐수공공처리장으로 유입되도록 관로가 형성된 지역에서는 본 연구에서의 운전효율 정도로 만족하고 지역 축산폐수공공처리장으로 이송함으로써 자가 축산폐수배출시설 설치기준 달성, Perlite 부산물의 생산으로 인한 경제적 효과, 고농도 축산폐수 원수의 농도부하를 대폭 저감함으로서 축산폐수공공처리장의 안정적인 운전효율을 달성할 수 있을 것으로 예상한다.
- 4) Perlite 부산물의 비료화 방안에서 Perlite 시제품의 시용효과가 크게 인정되나, Perlite의 입도 및 처리방법등에 따라 효능에 차이가 나므로 이를 고려한 추가적인 연구가 필요할 것으로 예상한다.

제3절 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 농업적 활용방안

1. 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 농업적 활용방안 I

농업활동에 의해 주변 토양 및 수질환경이 오염되고 있는 실정이다. 특히 축산폐수는 수질오염을 초래하는 대표적인 비점오염원/점오염원으로서 유기물 함량이 높고, 질소, 인산등 영양염류 농도가 높아 수질에 대한 BOD 부하량이 매우 큰 오염원이다.

국내외적으로 축산폐수, 특히 돈분뇨의 처리에 대한 많은 연구와 투자가 되고 있지만 실용적인 측면에서 많은 문제점을 나타내고 있는 실정이다. 축산폐수처리공정을 통해 생산되는 시제품도 일종의 폐기물로 발생된다. Perlite는 토양의 물리적 특성 개량제로 사용되고 있으며 생산되는 시제품은 미세공극에 유기물입자를 흡착 또는 보유하고 있기 때문에 농업적인 활용성이 크다고 판단된다. 이는 자원을 재활용함과 동시에 축산폐수처리공정에 의한 축산폐수처리 효율을 향상시킬수 있는 장점이 있다.

Perlite는 다공성의 물질이고 비중이 낮기 때문에 비료나 토양개량제로서 활용시 혼합비율, 처리농도 등에 관한 적정조건을 고려해야한다. 축산폐수처리공정에서 생산된 시제품도 처리량, 처리방법, 시기등에 관한 연구가 선행되어서 부산물비료 또는 토양 개량제로서의 적합한 활용방안을 모색할 수 있다.

본 연구는 Perlite를 이용한 축산폐수처리공정에서 생산된 부산물인 Perlite-돈분처리 시제품의 비효(肥效)를 평가하기 위한 목적으로 온실 및 포장시험을 수행하였다.

가. 농업적 활용방안 평가방법

본 연구에서는 <Perlite-돈분처리시제품>의 비료성분을 평가하기 위하여 온실시험(시험 1)과 포장시험(시험 2)을 수행하였다. <시험 1>에서는 시제품을 처리한 후 상추를 재배하였고, <시험 2>에서는 배추를 재배하였다. 시제품 처리가 작물의 생육상황, 수량 및 토양비옥도에 미치는 영향을 평가하였다.

1) 공시토양

본 시험에 사용된 토양은 춘천시 우두동 소재 농가의 토양을 사용하였다. <시험 1>에서 사용된 토양은 표토를 제거하고 심토에서 토양을 채취하여 돈분이 처리된 시제품 Perlite와 혼합한 토양을 사용하여 온실에서 상추를 재배하였다. <시험2>에서는 <시험1>의 시료를 채취한 동일한 포장에서 시제품 Perlite를 정식 10일전인 8월 10일에 기비와 토양개량제를 시용한 후 배추 재배 시험을 수행하였다. 토양은 강서통 세 사양토이며 토성은 작물생육에 양호하나 비옥도가 다소 낮은 경향을 보였다.

Table 3-32. Chemical properties of the experimental soil.

pH (1:5)	T-N %	P ₂ O ₅ mg/kg	OM %	Exch. (cmol(+)/kg)				CEC (cmol(+)/kg)
				K	Ca	Mg	Na	
6.20	0.16	177.31	2.55	0.49	2.95	1.2	0.04	9.94

공시 토양의 화학적 특성은 Table 3-32. 과 같이 pH가 6.20으로 약산성에 속하며, T-N은 0.16%, P₂O₅와 OM은 각각 177.91mg/kg과 2.55%로서 밭토양의 적정수준에 어느 정도 근접한 수치를 보이고 있다. 그러나 그 외의 교환성(치환성) 양이온 함량은 낮은 경향을 보였다.

2) 시제품 Perlite

토양개량제 시제품인 돈분처리 Perlite의 화학적 특성은 Table 3-33. 와 같으며 pH는 6.8로서 중성에 가깝고, T-N은 0.49%, P₂O₅는 694.46mg/kg, 유기물 함량은 54.9%로 다소 높은 경향을 보였다. 시제품은 화학적 특성상 토양개량제 및 부산물비료로서 활용될 가치가 높다고 판단된다.

Table 3-33. Chemical properties of the experimental products which treated piggery manure with Perlite.

	pH	T-N	P ₂ O ₅	OM	K ₂ O	CaO	MgO
	----- % -----						
EP*	6.80	0.49	0.07	54.90	0.20	0.40	0.3
Perlite	6.99	0.41	-	-	0.01	0.15	0.01

* : Experimental Product

3) 공시작물

<시험1>은 엽상추(*Lactuca Sativa* L. Lettuce)인 삼선적측면 상추(홍농종묘)를 공시품종으로 하여 육묘상에 파종하였으며, 파종 후 23일묘를 채취하였다. 토양과 시제품 Perlite 개량제를 혼합한 후 일정량을 평량하여 1/5000 a Wagner Pot에 충전한 후 상추묘를 이식하여 시험을 수행하였다. 시험 기간 중의 Pot관리는 2일에 1회씩 각 Pot 별로 동일 량의 물을 관수하였으며, 그 외의 관리는 표준 경종법에 준하여 철저히 관리하였다. Pot에 시용한 시비량은 성분량으로 N-27.6kg/10a, P-15.0kg/10a 및 K-21.0kg/10a에 해당하는 량을 평량하여 각 Pot에 시용 하였으며, 시비, 관리 등은 표준영농방법에 준하여 실시하였다. <시험2>의 공시작물은 배추(*Brassica Compestris* L. ssp. *Pekinensis* Rupr.)인 종가배추(농협중앙회)를 공시하였으며, 상토를 충전시킨 25공 연결 Pot 파종한 후 20일묘를 기비와 개량제 및 시제품 Perlite가 시용된 포장에 정식 하였다. 배추의 재식거리는 휴간 75cm와 주간 45cm로 하였으며, 시비량은 10a당 성분량으로 N-32, P-20, K-27kg/10a에 해당되는 시비량을 평량하여 시용 하였다. 그 외의 시비방법과 포장관리 방법은 표준경종법에 준하여 수행하였다.

4) 시험처리방법

처리내용은 Table 3-34., Table 3-35. 과 같이 N.P.K 처리 외 9개 처리로 하였으며 각 시험 공히 3반복으로 수행하였다. 시험전후 토양 및 식물체 분석은 농업기술연구소 표준방법에 준하여 실시하였다. 시험 처리구 배치는 완전임의배치법(Complete

Randomized Design)에 따랐다. 상추는 수확기에 도달되어 수확 후 수량을 조사하였으나, 배추는 아직 생육 중에 있어서 중간 생육상황만을 조사하였다.

Table 3-34. Treatment combinations for Lettuce growth in the greenhouse.

Treatment	Remarks
1. Control	
2. NPK	○ N : 27.6 P : 15 K : 21kg/10a
3. NPK + T-Perlite(TP) 10%	
4. NPK + T-Perlite(TP) 20%	○ N : Basal dress - 50%
5. NPK + T-Perlite(TP) 30%	1. Top dress - 16.7%
6. T-Perlite 10%	2. Top dress - 16.7%
7. T-Perlite 20%	3. Top dress - 16.7%
8. T-Perlite 30%	
9. NPK + O-Perlite(OP) 10%	
10. NPK + OM(1,500kg/10a)	

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OP : Only Perlite
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites of TP or OP incorporated into soil as volumn basis.

Table 3-35. Treatment combinations for Chinese cabbage growth in the field experiment.

Treatment	Remarks
1. Control	
2. N.P.K	○ N : 32 P : 26 K : 27kg/10a
3. NPK + T-Perlite 10%	
4. NPK + T-Perlite 20%	○ N : Base dress - 25.8%
5. NPK + T-Perlite 30%	1. Top dress - 21.4%
6. T-Perlite 10%	2. Top dress - 21.4%
7. T-Perlite 20%	3. Top dress - 21.4%
8. T-Perlite 30%	
9. NPK + O-Perlite 10%	
10. NPK + OM(1,500kg/10a)	

- N.P.K : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OP : Only Perlite
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites of TP or OP incorporated into soil as volumn basis.

나. 농업적 활용방안 평가결과

1) <시험1> Perlite 시제품이 상추의 생육, 수량 및 토양비옥도에 미치는 영향

가) 상추의 생육 및 수량

상추의 생육 및 수량은 대체로 양호하였으며 생육상황과 수량은 Table 3-36. 와 같다.

Table 3-36. Growth and yield parameters of Lettuce as influenced by experiment of product of the Perlite piggery manure treatments.

Treatment	엽장(cm)		엽폭(cm)		엽수 (개/plant)		엽면적 (cm ² / plant)	생중량 (g/plant)		건중량 (g/plant)	
	25 days	Har. days	25 days	Har. days	25 days	Har. days		25 days	Har. days	25 days	Har. days
Control	13.1	11.5	9.5	10.0	5.0	7.3	248	7.89	17.07	0.50	2.00
NPK	15.1	17.1	11.0	16.3	4.8	11.9	1112	13.29	71.50	0.55	7.05
NPK + TP 10%	14.2	17.0	11.7	15.6	4.5	11.3	1026	10.25	75.37	0.57	6.30
NPK + TP 20%	15.1	18.8	11.5	16.3	5.2	11.6	1130	14.02	65.09	0.72	7.09
NPK + TP 30%	15.2	18.0	11.1	16.3	4.8	12.0	1133	11.66	76.68	0.55	7.51
TP 10%	13.3	12.0	10.5	10.7	6.0	7.7	288	13.37	17.24	0.41	2.41
TP 20%	14.3	15.5	10.6	12.1	4.6	8.2	473	11.58	30.94	0.59	3.40
TP 30%	14.5	14.1	11.6	11.0	5.6	8.9	486	13.35	32.75	0.81	4.28
NPK + OM	14.8	19.0	11.0	17.1	4.9	12.3	1433	8.33	77.82	0.49	6.81
NPK + OP 10%	11.0	16.5	8.9	16.8	4.6	11.5	933	7.43	66.13	0.33	6.34
LSD (5%)	5.08	1.77	2.57	1.92	1.05	6.74		9.11	12.82	0.83	3.81
LSD (1%)	6.93	2.42	3.51	3.99	1.43	9.19		12.43	17.49	1.13	5.19

- NPK : NPK fertilizer as recommended

- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OP : Only Perlite
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 25days : 25 days after treatments.
- Har. : at harvest time
- LSD : Least Significant Difference.

각 처리 공히 엽장, 엽폭 및 엽수 등의 생육상황은 NPK 시용구에 비하여 NPK + TP 10%, NPK + TP 20%, NPK + TP 30% 및 NPK + OM 처리구가 대체로 양호하였는데 NPK를 시용 하지 않고 TP만 시용한 처리들은 생육이 다소 저조하였다. 이것은 시제품중에 함유된 돈분의 비료성분이 NPK외에 더 추가된 것에 기인된 것으로 생각된다. 또한 정식 후 25일 조사에서는 각 처리간 생육상황이 큰 차이를 보이지 않았으나 수확기에 생육차이가 더욱 현저하였다. 상추의 주당 엽면적 조사 결과를 보면 (NPK구)의 $1.112\text{cm}^2/\text{1주}$ 에 비하여 (NPK + OM구)는 28.9% 증가한 $1.433\text{cm}^2/\text{1주}$ 로 가장 크며, (NPK + TP 시용구)들은 같거나 다소 증가한 엽면적을 보였다. 그러나 NPK를 시용 하지 않은 처리들은 극히 적은 엽면적을 보여 22.3% ~ 43.7% 범위 안에 분포되었다. 상추의 수량인 수확기 생중은 Table 3-35. 와 <그림 1>에서 보는 바와 같이 (NPK 구)의 $71.5\text{g}/\text{1주}$ 에 비하여 (NPK + OM 구)는 $77.82\text{g}/\text{1주}$ 로 가장 무거웠으며 (NPK + TP 30% 구)도 $76.68\text{g}/\text{1주}$ 로 무거웠다. 그 외의 (NPK + TP 시용구)도 NPK 구와 거의 같거나 무거웠는데 이상의 결과는 생육상황의 엽면적에서의 결과와 같은 경향을 보였다. 또한 건물 중에 있어서도 생중과 비슷한 경향을 보였으나 처리간에 차이가 크지 않았다. Fig. 3-60. 의 처리간 생중의 수량지수를 비교해보면 [NPK + OM(108.8%)]와 [NPK + TP 30%(107.2%)] 및 [NPK + TP 10%(105.4%)]구가 NPK 구보다 높았으나 (NPK + 20%구)가 91%로 남았는데 이것은 시험관리상의 오차일 것으로 생각된다. Fig. 3-61. 의 상추 주당 건물중의 수량지수도 생중의 수량지수와 거의 같은 경향을 보였다. Fig. 3-62. ~ Fig. 3-65. 는 처리구별 상추생육을 비교한 것이다.

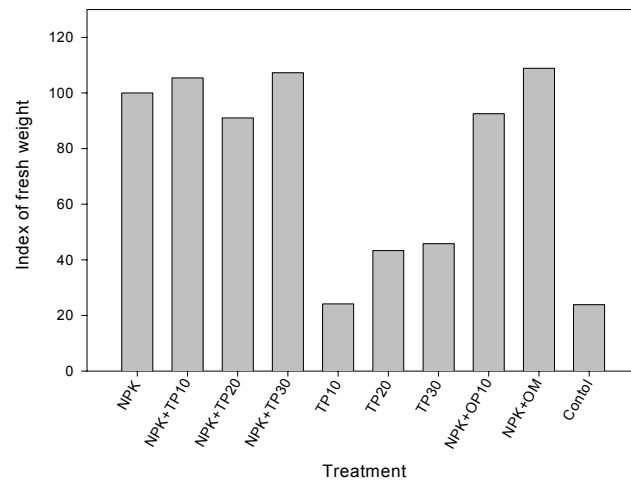


Fig. 3-60. Yield index of fresh weight for Lettuce at harvest.

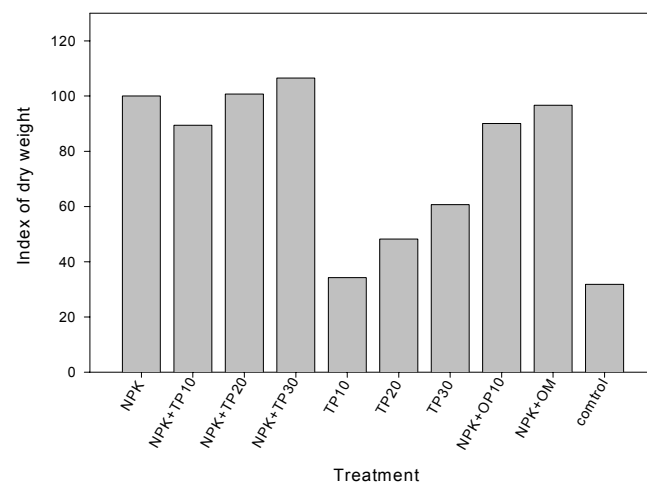


Fig. 3-61. Yield index of dry weight for Lettuce at harvest.



Fig. 3-62. Comparisons of Lettuce growth between (NPK+OM), (NPK+TP30) and (NPK) treatment



Fig. 3-63. Comparisons of Lettuce growth between (TP 30), (TP 20), (TP 10), (Control), and (NPK) treatment.



Fig. 3-64. Comparisons of Lettuce growth bewteen (NPK+OM), (NPK+TP30), (NPK+TP20), (NPK+TP10) and (NPK) treatment



Fig. 3-65. Comparisons of Lettuce growth bewteen (NPK+OM), (NPK+OP), (TP 10%), (NPK+TP10) and (NPK) treatment

상추의 생육상황은 NPK + OM 처리구에서 가장 생육상황이 양호한 것으로 나타났으나 NPK + TP 처리구의 상추도 NPK 시용구보다 양호한 것으로 나타났다. 또한 TP 처리량은 30%에서 가장 양호하였다. 그러나 TP 시제품 자체만으로는 생육상황에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

나) 상추에 의한 영양소 흡수

정식 후 25일 및 수확기 식물체중 영양소의 흡수량의 변화는 Table 3-37. 에서 보는 바와 같다.

Table 3-37. Nutrient uptake by Lettuce Leaf as affected by treatment combinations. (%)

Treatment	T-N		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO	
	25days	Har.	25days	Har.	25days	Har.	25days	Har.	25days	Har.
Control	1.95	1.15	0.014	0.013	0.01	0.01	0.90	0.85	0.43	0.43
NPK	4.26	2.75	0.021	0.013	0.01	0.01	1.31	0.98	0.75	0.50
NPK + TP	4.00	2.66	0.014	0.014	0.01	0.01	1.52	0.98	0.77	0.65
10%										
NPK + TP	3.79	2.67	0.017	0.015	0.01	0.01	1.48	0.92	0.68	0.63
20%										
NPK + TP	3.80	3.08	0.015	0.011	0.01	0.01	1.18	0.85	0.69	0.62
30%										
TP 10%	1.70	1.25	0.018	0.012	0.01	0.01	0.72	0.74	0.37	0.45
TP 20%	2.76	1.50	0.020	0.014	0.01	0.01	0.95	0.70	0.48	0.45
TP 30%	2.68	1.47	0.012	0.016	0.01	0.01	0.73	0.89	0.51	0.44
NPK + OP	4.14	3.17	0.019	0.009	0.01	0.01	1.19	0.79	0.67	0.63
10%										
NPK + OM	3.39	3.61	0.018	0.016	0.01	0.01	1.56	0.91	0.79	0.68

- NPK : NPK fertilizer as recommended

- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OP : Only Perlite
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 25days : 25 days after treatments.
- Har. : at harvest time
- 10, 20, 30% : Perlites of TP or OP incorporated into soil as volumn basis.

식물체중의 양분의 종류별 함량을 비교해보면 T-N 함량이 가장 많았으며 CaO와 MgO도 다소 많은 경향이었으나 P_2O_5 와 K_2O 는 극히 미량이 함유되어 있음을 볼 수 있었다. 처리별로 T-N 함량의 변화를 보면 (NPK 시비구)에서 식물체중의 함량이 높았으며, 정식후 25일 구에서 훨씬 높은 경향을 보였다. 이러한 현상은 CaO와 MgO에서도 같은 경향을 보였다. 그러나 P_2O_5 와 K_2O 는 처리간에 함량차이를 보이지 않았으며, 생육시기간에도 식물체중의 함량변화는 P_2O_5 는 약간 차이가 있으나, K_2O 는 처리간에나 생육시간에 아무런 함량변화를 보이지 않았다.

다) Perlite 시제품 처리가 토양 화학성 변화에 미치는 영향

각 처리별 수확기 토양의 화학성 변화를 보면 Table 3-38. 과 같다. 각 성분 공히 처리간에 함량의 차이가 별로 없었으나, (NPK + OM구)에서만 pH가 약간 낮고, T-N, P_2O_5 , OM, K, Mg, Na 및 CEC가 약간 높은 함량분포를 보였다. 따라서 TP 시제품 처리는 토양의 화학적 성질을 변화시키지 않는 것으로 사료되며, 토양개량제로서의 가치여부는 특별한 경향을 보이지 않는 것으로 나타났다.

Table 3-38. Chemical properties of soil after harvesting of Lettuce as affected by treatment combinations.

Treatment	pH (1:5)	T-N %	P ₂ O ₅ mg/kg	OM %	Exch. (cmol(+)/kg)				CEC (cmol(+)/kg)
					K	Ca	Mg	Na	
Control	6.97	0.16	141.83	3.35	0.44	3.04	1.16	0.05	8.97
NPK	6.70	0.15	164.94	3.07	0.40	2.90	0.98	0.03	9.00
NPK + TP 10%	6.70	0.16	154.58	3.24	0.40	2.96	1.17	0.05	9.48
NPK + TP 20%	6.71	0.16	140.21	2.75	0.41	3.03	1.38	0.07	9.22
NPK + TP 30%	6.68	0.17	157.65	3.35	0.39	2.86	1.33	0.03	8.96
TP 10%	6.88	0.16	160.35	3.18	0.44	3.01	1.07	0.07	9.09
TP 20%	6.91	0.17	149.82	3.23	0.44	3.02	0.90	0.07	8.79
TP 30%	6.86	0.17	158.61	3.26	0.44	3.00	1.13	0.09	8.84
NPK + OP 10%	6.67	0.17	178.86	3.27	0.39	2.96	1.63	0.04	9.17
NPK + OM	6.12	0.18	185.72	3.63	0.50	3.00	1.92	0.11	10.35

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OP : Only Perlite
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites of TP or OP incorporated into soil as volumn basis.

2) <시험 2> Perlite 시제품이 배추의 생육에 미치는 영향

현재 배추는 포장에서 생육 중에 있으므로 수확을 못하고 현재까지의 생육상황만을 조사하였다. Fig. 3-66., Fig. 3-67., Fig. 3-68. 은 배추 처리구별 포장과 배추생육 정도를 보여주고 있다. 배추의 엽장 및 엽폭의 변화는 Fig. 3-69., Fig. 3-70. 과 같다. 생육시기별로 비교해 보면 정식 후 20일, 30일 및 45일에는 처리간에 다소 차이를 보였다. 상추에서 본 바와 같이 다비구인 (NPK + TP 30% 구)와 (NPK + OM 구)에서 엽장, 엽폭이 약간 큰 경향을 보였으나 그 외의 처리간에는 일정한 경향을 찾아 볼 수가 없었다. 그러나 (T-P 시용구)에서 (NPK 구)보다 생육이 같거나 약간 양호한 것으로 보아 Perlite를 가축분뇨처리에 이용하고 그 부산물로 생산된 제품을 토양개량제로서 이용이 가능할 것으로 사료된다.



Fig. 3-66. 배추 포장 처리구별 구획정리



Fig. 3-67. 처리구별 배추정식



Fig. 3-68. 배추 정식 20일 후 처리구별 생육상황

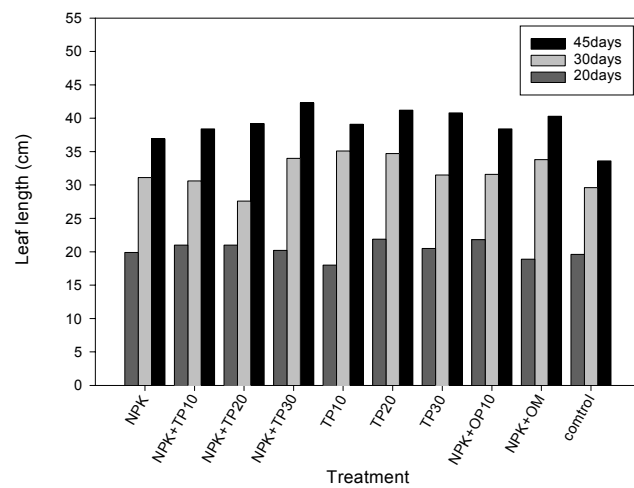


Fig. 3-69. Leaf length of Chinese cabbage.

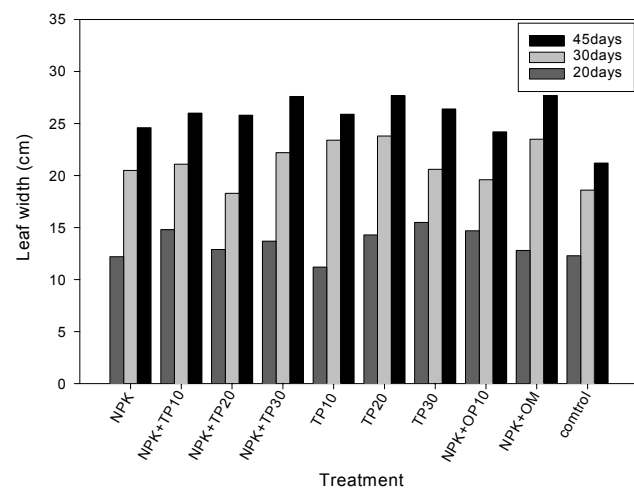


Fig. 3-70. Leaf width of Chinese cabbage.

Table 3-39. 은 각 처리에서 채취한 배추 잎의 생중 및 건물 중을 조사한 결과로 앞에 나타났던 성적과 같이 (NPK + TP 구)와 (NPK + OM 구)에서 무거웠다. 그러므로 수확기 배추의 수량도 이러한 처리에서 증수 될 것으로 전망된다. 배추를 수확 후 Perlite 시제품 처리가 배추의 생육, 수량, 양분흡수 및 토양비옥도에 미치는 영향을 종합적으로 평가하여 보고할 계획이다.

Table 3-39. Growth and yield parameters of Chinese cabbage as influenced by experimental products of Perlite piggery manure treatments.

Treatment	생중량 (g/ 6 leaves)	생중지수 (%)	건중량 (g/ 6 leaves)	건중지수 (%)
Control	123.78	83.84	10.57	84.90
NPK	147.64	100.00	12.45	100.00
NPK + TP 10%	223.32	151.26	17.87	142.81
NPK + TP 20%	234.32	158.71	11.72	94.14
NPK + TP 30%	309.01	209.30	17.12	137.51
TP 10%	237.02	160.53	17.03	136.79
TP 20%	234.78	158.49	15.48	124.34
TP 30%	191.68	129.83	19.88	159.68
NPK + OP 10%	163.75	110.91	12.14	97.51
NPK + OM	200.08	135.51	19	131.49

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OP : Only Perlite
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites of TP or OP incorporated into soil as volumn basis.

다. 적요

본 연구에서는 <Perlite-돈분처리시제품>의 비료성분을 평가하기 위하여 온실시험(시험 1)과 포장시험(시험 2)을 수행하였다. <시험 1>에서는 시제품을 처리한 후 상추를 재배하였고, <시험 2>에서는 배추를 재배하였다. 시제품 처리가 작물의 생육상황, 수량 및 토양비옥도에 미치는 영향을 평가하였다.

- 1) (NPK + OM 구)와 (NPK + TP 구)에서 상추의 엽장, 엽폭 및 엽수가 양호하였으며 주당 엽면적도 넓었다.
- 2) (NPK + OM 구)와 (NPK + TP 시용구)에서 상추의 수량이 많았다.
- 3) 식물체중의 양분함량은 (NPK 시용구)에서 T-N, CaO 및 MgO의 함량은 높았으나, P₂O₅ 및 K₂O 함량은 처리간, 생육시간에 변화를 보이지 않았다.
- 4) 수확기 토양중 화학성 변화는 처리간에 별다른 차이를 보이지 않았다.
- 5) 배추에 대한 시험은 아직 생육중에 있으나 엽장, 엽폭 및 엽중에서 (NPK + TP 30%)와 (NPK + OM 구)에서 양호한 경향을 보였다.
- 6) 현재까지의 결과로 보아 축산폐수처리 Perlite의 농업적 이용이 가능할 것으로 사료된다.

2. 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 농업적 활용방안 II

가. 농업적 활용방안 평가방법

Perlite를 이용한 축산폐수처리공정에서 생산된 부산물인 Perlite-돈분처리 시제품의 비효(肥效)를 평가하기 위한 목적으로 온실 및 포장시험을 수행하였다. 1차년도에는 부유흡착 공정에서 생산된 Perlite 부유물을 시비한 경우를 2차년도에는 후처리용 Perlite 컬럼 공정에서 생산된 Perlite 부유물을 시비한 경우를 대상으로 하였다. <Perlite 돈분처리 시제품>의 비료 성분을 평가하기 위하여 시제품의 분석과 Vinylhouse에서의 상추 pot 시험과 포장에서 배추의 시험을 수행하였다. Perlite 시제품 처리가 작물의 생육에 미치는 영향과 수량 및 토양 비옥에 미치는 영향을 평가하였다.

1) 축산 폐수를 처리한 Perlite의 물리·화학적 특성 분석

Table 3-40. Chemical properties of the experimental products which treated piggery manure with Perlite

	pH	EC	OM	T-N	T-P	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
	(1:5)	(ds/m)	-----%-----						
시제품1	7.03	7.53	10.96	0.39	0.35	0.19	0.07	0.17	0.02
시제품2	7.06	7.91	10.87	0.49	0.34	0.18	0.07	0.17	0.02
시제품3	7.05	7.96	10.94	0.39	0.30	0.21	0.06	0.14	0.02
평균	7.05	7.80	10.92	0.42	0.33	0.19	0.07	0.16	0.02

축산폐수를 처리한 후 발생된 Perlite 시제품의 물리·화학적 특성을 분석한 결과는 Table 3-40. 와 같다. pH는 7.03~7.06의 중성으로 작물재배에 적합한 것으로 생각되나 EC가 7.53~7.96ds/m로 높은 경향을 보여 일반노지에서의 작물재배에는 사용이 가능하나 시설재배지에서는 염류의 집적등의 문제가 발생할 가능성이 높아 사용시에

는 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다. 또한, 유기물 함량이 적을 뿐만 아니라 T-N, T-P, K₂O, CaO, MgO등의 함량이 적은 편이다.

Table 3-41. Perlite 시제품의 미량원소, 수분함량, C/N율

	수분함 량	C/N	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Zn	Ni	As	Hg
	(%)	ratio	mg/kg								
시제품1	86.74	16.30	tr	2.67	134	537	4.12	119	0.45	2.27	tr
시제품2	85.19	12.87	tr	1.76	160	773	4.12	136	0.40	2.64	tr
시제품3	86.44	16.27	tr	1.42	154	693	3.30	125	0.17	2.47	tr
평균	86.12	15.15	tr	1.95	149	667	3.85	136	0.34	2.46	tr

※tr: trace

Perlite 시제품의 수분함량 및 미량원소의 함량을 보면 Table 3-41. 과 같다. Perlite 시제품의 수분함량은 85~86%로 약간 많은듯하며, C/N율은 평균 15로서 작물 재배에 적당할것으로 생각되나 반복간에는 다소 차이를 보이고 있다. Cd와 Hg는 흔적을 나타냈으며 Cu는 다소 많은 경향을 보였으나, 그 외의 성분들은 매우 적은 양을 보였다.

2) 축산폐수를 처리한 Perlite 시제품이 작물의 생육 및 토양비옥도에 미치는 영향

본 연구는 Perlite를 이용한 축산폐수 처리공정에서 생산된 부산물인 Perlite 시제품에 대하여 비료로서의 효과를 평가하고 토양비옥도에 미치는 영향을 구명하고자 Vinyl house에서는 상추에 대한 pot시험을 수행하였고, 포장시험에서는 가을 김장배추에 대한 재배 시험을 수행하였다.

가) 공시토양

본 연구에 공시된 토양은 강원도 우두동에 소재한 농가의 토양으로 강서 미사질양 토이며, pot시험용 토양은 표토의 불순물이나 유기물들을 제거한 후 채취하여 표토와 심토를 잘 혼합하여 Vinyl house에서 시험을 실시하였다. 포장시험은 pot시험용 토양과 동일한 장소의 토양에서 시험을 수행하였으며, 이 토양은 배수가 양호하며 비옥도도 보통정도로서 채소작물재배에 적합한 토양이며, 시험 전 토양의 화학적 특성은 Table 3-42. 에서 보는 바와 같다.

Table 3-42. Chemical propertise of the experimental soil

pH	T-N	Ave-P ₂ O ₅	OM	Ex. Cation (cmol(+)/kg)				CEC
				K	Ca	Mg	Na	
(1:5)	(%)	(mg/kg)	(%)					(cmol(+)/kg)
6.3	0.17	180	2.53	0.45	2.90	1.2	0.04	9.9

pH는 6.3으로 약산성이며 T-N, P₂O₅ 및 OM은 각각 0.16%, 180mg/kg과 2.56%로 밭토양의 적정수준에 근접하는 결과를 보였고, K · Ca · Mg등의 교환성 양이온 함량은 다소 낮은 함량분포를 보였다.

CEC도 9.9cmol(+)/kg로서 낮은 수치를 나타냈다.

나) 시제품 Perlite

토양개량제로 사용할 Perlite 시제품의 화학적 특성은 Table 3-43. 에서 보는 바와 같다.

Table 3-43. Chemical properties of the experimental products which treated piggery manure with Perlite

pH	OM	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Na ₂ O	EC	OM/N
								(ms/cm)	ratio
8.65	19.49	0.18	0.16	2.30	0.12	0.08	3.43	2.10	109.3

pH는 8.65로 알칼리성을 나타내며, 유기물 함량은 19.49%로 낮은 상태이다. 특히 T-N가 0.18%로 매우 낮은 함량분포를 보였고, 그외의 다른 성분들도 낮은 분포를 보여 토양개량제로의 사용은 다소 어려울 것으로 사료된다. 특히 1차로 접수한 Perlite의 화학적 성분은 양호한 편이나, 포장시험용으로 2차에 공급된 Perlite시제품은 토양개량제로 사용이 곤란할 것으로 사료되었다.

Table 3-44. Perlite 시제품 중 미량원소와 중금속 함량

수분함량	Fe	Cu	Zn	Cd	As	Al	Hg	Pb	Cr
(%)	-----mg/kg-----								
54.16	2,463	133	123	ND	ND	1317	ND	16	12

Perlite 시제품 중 미량원소와 중금속함량은 Table 3-44. 과 같이 Fe(2,463mg/kg)와 Al(1,317mg/kg)은 높은 함량분포를 보였으나 그외의 다른 원소들은 적은 함량을 보였다.

다) 공시 작물

Pot시험에 공시된 엽상추는(Lactuca Sativa L. Leettuce) 만추대 청치마 상추(홍농종묘)를 사용하였다. 2001년 7월 25일에 육묘상에 파종하여 20일묘를 채취하였고 토양과 Perlite를 잘혼합하여 Pot에 넣은후 기비인 N·P·K를 시용하고 관수한 후 Pot당 3주씩 묘를 정식하여 시험을 수행하였다. Pot관리는 2일에 1회씩 관수하되 Pot당 거의 같은량의 물을 관수하도록 하였으며 그외의 관리는 표준경중법에 준하여 실시하였다.

포장시험은 가을김장배추(Brassica Compestris L. ssp. Perkinensis Rupr.)인 중가배추(농협중앙회생산)를 공시하였다. 이탄으로된 육묘용 상토를 15공연결 Pot에 충전시킨후 2001년 8월 4일 1공에 3~4립의 종자를 파종하였고, 물을 충분히 관수 한 후 신문종이를 덮고 그위에 철사 활대를 꽂은 후 망사를 덮어 진딧물 및 각종 해충의 침

입을 방지하였다. Perlite시제품의 처리는 먼저 관리기로 묘가 식재될 골을 Fig. 3-71. 과 같이 깊게 파 놓은 후 구획을 작성하고 그 골에 Perlite를 평량하여 뿌린 후 흙을 약간 덮고 그 위에 Fig. 3-72. 와 같이 N·P·K 밑거름을 사용하고 다시관리기로 휴 간 사이골을 깊게 파 두둑을 만들었다. 만들어진 두둑을 정리한 후 2001년 8월 27일 에 배추 23일묘를 정식하였다. 배추의 재식거리는 주간 45cm 휴간 75cm로 하였으며 포장관리는 강원도 표준 경종법에 준하여 철저를 기했다. 다만 시험기간 중 가뭄에 의하여 묘의 활착이 다소 불량했으나 관수에 최선을 다하였다.

라) 시험 처리 방법

각 시험별 처리내용은 Table 3-45. Table 3-46. 와 같이 N·P·K처리외에 9개로 하였으며 3반복으로 수행하였다. 시험전 후 및 시험중 토양분석과 식물체 분석은 농업기술연구소 표준분석법에 준하였으며, 시험구의 배치법은 Pot시험- 완전 임의배치법(Complete Randomized Design)으로, 포장시험- 난괴법(Randomized complete block design) 3반복으로 하였다. Pot 시험의 상추는 수확기에 도달되어 최종수량을 조사하였으나, 토양 시료와 식물체 시료는 건조 조제중에 있어 분석하지 못하였으며, 포장시험의 배추는 3차 추비를 이번주 중에 사용하여 생육중에 있으므로 중간생육 상황을 조사하였다.



Fig. 3-71. 처리구별 구획 정리



Fig. 3-72. 처리구별 기비 시용

Table 3-45. Treatment combinations for Lettuce growth in the vinylhouse

Treatment	Remarks
1. Control	O N : 27.6 P : 15 K : 21kg/10a O N : Basal dress - 50% 1. Top dress - 16.7% 2. Top dress - 16.7% 3. Top dress - 16.7%
2. NPK	
3. NPK + T-Perlite(TP) 10%	
4. NPK + T-Perlite(TP) 20%	
5. NPK + T-Perlite(TP) 30%	
6. T-Perlite 10%	
7. T-Perlite 20%	
8. T-Perlite 30%	
9. NPK + O-Perlier(OP) 10%	
10. NPK + OM(1,500kg/10a)	

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OP : Only Perlite
- OM : Organic manure by-product fertilizer
- 10, 20, 30% : Perlites of TP or OP incorporated into soil as volumn basis

Table 3-46. Treatment combinations for Chinese cabbage growth in the field

Treatment	Remarks
1. Control	O N : 32 P : 20 K : 27kg/10a O N : Basal dress - 25.8% 1. Top dress - 21.4% 2. Top dress - 21.4% 3. Top dress - 21.4%
2. NPK	
3. NPK + T-Perlite(TP) 10%	
4. NPK + T-Perlite(TP) 20%	
5. NPK + T-Perlite(TP) 30%	
6. T-Perlite 10%	
7. T-Perlite 20%	
8. T-Perlite 30%	
9. NPK + O-Perlier(OP) 10%	
10. NPK + OM(1,500kg/10a)	

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OP : Only Perlite
- OM : Organic manure by-product fertilizer
- 10, 20, 30% : Perlites of TP or OP incorporated into soil as volumn basis

나. 농업적 활용방안 평가결과

Perlite를 이용한 축산폐수처리공정에서 생산된 부산물인 Perlite-돈분처리 시제품의 비효(肥效)를 평가하기 위한 목적으로 온실 및 포장시험을 수행하였다. 2차년도에는 후처리용 Perlite 컬럼 공정에서 생산된 Perlite 부유물을 시비한 경우를 대상으로 하였다. 후처리공정에서는 Perlite 컬럼의 여과작용을 이용하여 돈분뇨폐수중의 부유물 질등을 제거하는 것이기에 Perlite의 미세공극내부까지의 흡착반응은 미흡한편으로서 1차년도에 수행한 부유흡착과정에서 얻어진 Perlite 부산물과는 성분에서 차가 있었다. <Perlite 돈분처리 시제품>의 비료 성분을 평가하기 위하여 시제품의 분석과 Vinylhouse에서의 상추 pot 시험과 포장에서 배추의 시험을 수행하였다.

1) 상추의 생육 및 수량 (Pot시험)

각 처리별 상추의 생육 상황 및 생육 전경은 Table 3-47. 과 같다. 상추의 1차 생육조사 시기인 정식후 14일에 조사한 결과에 의하면 엽장은 NPK구 14.4cm에 비하여 NPK+OM구가 14.8cm로 다소 증가하는 경향을 보였으나 그외의 처리구는 모두 감소하였다. NPK+TP10% 시용구가 10.5cm, NPK+TP 20% 시용구는 9.6cm 그리고 NPK + TP 30%구는 8.6cm를 보였으며, TP10%구는 10.3cm, TP20%구는 9.0cm 그리고 TP30%구는 9.3cm를 보였다. 특히 Perlite 시용량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 엽폭에서도 엽장에서의와 같은 결과를 보였는데 NPK구의 7.4cm에 비하여 NPK+OM구는 1.7cm가 증가한 9.1cm를 보였으나 그외의 처리구는 모두 감소하였으며 그 경향은 엽장에서의 결과와 같게 나타났다. 엽수에서도 같은 경향을 보였다. 또한 조사시기별 생육상황을 보면 1차 조사시기에 비하여 2차 조사시기에는 상추의 생육이 크게 증가하였으나 3차시기에는 2차 생육조사이후 생육이 둔화되어 생장량이 별로 증

가하지 않았다.

Table 3-47. Growth of Lettuce as influenced by experiment of product of the Perlite piggery manure treatment

Treatment	엽장(cm)			엽폭(cm)			엽수(개)		
	9/6	9/19	9/27	9/6	9/19	9/27	9/6	9/19	9/27
	----- days -----								
Non - Fertilizer	11.1	12.2	12.1	6.2	6.6	6.3	8.1	9.4	10.7
NPK	14.4	18.3	19.0	7.4	10.1	9.9	9.7	13.4	17.7
NPK + TP10%	10.5	15.7	17.8	5.7	7.3	7.9	9.2	12.1	15.8
NPK + TP20%	9.6	13.9	14.9	4.9	6.6	6.7	8.2	11.0	13.2
NPK + TP30%	8.6	12.6	16.1	3.7	6.8	7.4	6.9	10.1	14.8
TP 10%	10.3	10.6	11.0	4.0	5.2	5.3	8.4	9.1	12.7
TP 20%	9.0	14.1	15.1	5.0	6.5	6.5	10.2	12.6	15.8
TP 30%	9.3	14.3	15.8	5.0	6.6	7.3	10.3	11.9	14.2
NPK + OM	14.8	21.8	21.5	9.1	12.4	11.3	11.8	19.1	23.2
NPK + OP 10%	8.3	10.5	12.0	5.0	5.7	6.1	8.2	11.2	15.3
LSD (5%)	2.24	2.86	3.05	1.45	1.26	0.99	2.25	2.95	2.46
LSD (1%)	3.06	3.90	4.16	1.98	1.72	1.36	3.07	4.02	3.35

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OP : Only Perlite
- OM : Organic manure by-product fertilizer
- 10, 20, 30% : Perlites of TP or OP incorporated into soil as volumn basis
- days : days after planting
- LSD : Least Significant Difference

Table 3-48. 에서 처리별 상추의 생중 및 건물중 변화를 비교해보면 1차 생육조사 시기에서 NPK구의 생중 24.0g에 비하여 NPK+OM구의 56.7g이 크게 증가하였으나 그외의 처리구는 모두 크게 감소하였다. perlite시용량간에는 NPK_TP10%구가 20.7g으로 가장 무겁고 NPK+TP20%는 17.0g, NPK+TP30%시용구는 5.0g으로 크게 감소하였는데 이것은 perlite중에 T-N 및 다른 성분들의 함량이 극히 적었던 것으로 사료된다. 그리하여 각처리 공히 perlite 시제품의 시용량이 증가할수록 생육도 저조하고, 생중도 점차 적어지고 있었다. 또한 건물중의 변화도 생체중과 같은 경향을 보였다. 2차 생육조사시의 생중과 건물중에서도 1차시기와 같은 경향을 보였으나 관수의 영향에 의해 처리간의 생체중과 건중 및 생육조사 성적의 차이가 그리 크게 나타나지 않았다.

Table 3-48. Comparison of fresh and dry weight of Lettuce as influenced by experimental products of perlite piggery manure treatments

Treatment	1차 (9월 6일)			2차 (9월 19일)		
	생 중 (g)	건 중 (g)	건물중 (%)	생 중 (g)	건 중 (g)	건물중 (%)
Non - Fertilizer	8.77	1.31	15.0	8.3	1.7	20.5
NPK	24.0	2.34	9.7	35.0	4.08	11.6
NPK + TP10%	20.7	1.66	8.0	26.0	2.04	7.8
NPK + TP20%	17.0	0.99	5.8	17.7	1.57	8.9
NPK + TP30%	5.0	0.53	10.6	22.0	1.93	8.8
TP 10%	4.7	0.51	10.8	8.3	1.03	12.4
TP 20%	17.3	1.25	7.2	20.3	1.61	7.9
TP 30%	14.3	1.03	7.2	17.0	1.42	8.3
NPK + OM	56.7	4.60	8.1	76.3	6.47	8.5
NPK + OP 10%	9.7	1.00	10.3	12.7	1.53	12.0

Table 3-49. Growth and yield parameters of Lettuce as influenced by experimental products of perlite piggery manure treatments

Treatment	엽장 ----- cm -----	엽폭	엽수 (개)	수량 (g/1주)	동지수	건물중 (g/1주)	건물율 (%)
Non - Fertilizer	11.2	6.5	14.3	18.7	22.4	2.62	14.0
NPK	18.5	9.8	26.7	83.3	100	17.6	21.1
NPK + TP10%	19.2	9.3	25.7	88.7	106.4	18.5	20.8
NPK + TP20%	15.7	7.2	20.0	49.0	59.8	9.3	19.0
NPK + TP30%	17.7	9.8	26.0	99.7	119.6	12.7	12.7
TP 10%	12.2	6.3	19.3	31.0	37.2	3.0	9.7
TP 20%	14.7	7.5	24.3	49.7	59.6	8.4	16.9
TP 30%	17.0	8.0	24.0	66.3	79.6	7.2	10.8
NPK + OM	20.7	12.5	31.7	129.7	155.6	28.9	22.2
NPK + OP 10%	13.5	7.8	22.7	56.3	67.6	8.4	12.4
LSD (5%)	3.91	2.17	4.48	25.16		7.17	
LSD (1%)	5.34	2.96	6.17	34.31		9.78	

수확기 생육 및 수량을 Table 3-49., Fig. 3-73., Fig. 3-74. 에서 보면 생육조사 1차, 2차 시기의 결과와 같은 경향을 보였다. 수확기 엽장을 보면 NPK구의 18.5cm에 비하여 NPK+OM구가 20.7cm로 가장 양호하였으며 NPK+TP10%구도 19.2cm로 생육이 양호하였다. 그외의 처리구는 엽장이 모두 적었으며, perlite 처리구가 생육 초기에는 생육이 저조하였으나 생육후기에는 충분한 관수 등의 영향에 의하여 perlite 시용량이 증가할수록 생육이 회복되는 경향을 보였다. 그러나 초기 생육이 양호했던 NPK, NPK+OM구에 비하여는 다소 저조한 생육상을 보였다. 엽폭 및 엽수에서도 엽장과서와 같은 경향을 보였다. 처리별수량인 주당 생중을 비교하여 보면 NPK(83.3g/1주)에

비하여 NPK+OM구가 55.6%로 가장 크게 증수되었으며 NPK+TP30%가 19.6%, NPK+TP10%가 6.4%의 증수를 보였으나 그외의 처리구는 모두 감수되는 경향을 보였다. perlite 시용량간에는 시용량이 증가할수록 다소 증가하는 경향은 보이나 NPK에 비하여 낮은 수량을 보여 토양개량제로서의 시용은 다소 고려해 보아야 할 것으로 생각된다. 상추의 건물중에 있어서도 수량과 같은 경향을 보였다. 시험기간 중 채취한 토양과 시험 후 토양의 화학적 특성은 현재 조제중이므로 곧 분석을 수행할 것이며, 처리별 식물체중의 양분함량 변화도 함께 분석하고자 시료를 조제중에 있다.



Fig 3-73. 상추 처리별 비교



Fig. 3-74. 수확기 상추의 처리별 비교

2) 배추의 생육 및 수량 (포장시험)

배추에 대한 perlite 시제품의 시용시험은 Fig. 3-75., Fig. 3-76. 에서 보는 바와 같이 아직 포장에서 생육중에 있으며, 이번 주중에 3차 추비 및 생육조사와 시험중 토양시료를 채취하여 분석할 계획중에 있어 수량상황은 보고치 못하고 현재까지의 생육상황만을 조사 보고하고자 한다. 정식(9/14)후 처리별 엽장 변화를 보면 NPK구의 23.4cm에 비하여 NPK+OP은 23.9cm, NPK+TP10%가 23.7cm, NPK+OM이 22.5cm의 순으로 되어있으나, 그외의 처리는 생육이 다소 저조한 것으로 나타났다. perlite 시제품의 시용량간에는 시용량이 증가할수록 생육이 저조하게 되었으며, perlite의 시용량이 적은 NPK+TP10%구의 23.7cm에 비해 20%구는 17.6cm 그리고 perlite 30% 시용구는 14.4cm로 생육이 가장 저조하였다. 또한, NPK를 시용하지 않은 TP10%구는 21.3cm, TP20%구는 15.4cm, TP30%구는 17.8cm로 NPK 시용구보다 작게 나타났다. 이결과는 상추의 pot 시험에서 보인것과 같이 perlite중 T-N 및 다른 비료 성분의 함량이 극히 적었던 것에 기인된 것으로 생각되며, 금년 가을의 심한 가뭄에 의하여 더욱 저조한 생육 상황을 나타냈다. 정식(9/14)후 엽장 및 엽폭 변화도 엽수와 같은 결과를 보였다. 또한, 정식(9/14)후 처리별 배추의 엽수는 처리간에 일정한 경향을 보이지 않았다.

Table 3-50. Growth of Chinese cabbage as influenced by experiment of product of the perlite piggery manure treatment

Treatment	엽 장 (cm)		엽 폭 (cm)		엽 수 (개)
	9/14	10/4	9/14	10/4	9/14
	----- days -----				
Non - Fertilizer	22.4	36.0	13.1	23.0	9.5
NPK	23.4	43.0	16.1	31.0	11.1
NPK + TP10%	23.7	40.0	14.9	25.0	11.0
NPK + TP20%	17.6	36.0	10.6	24.0	8.8
NPK + TP30%	14.4	32.0	8.9	19.0	7.3
TP 10%	21.3	33.0	12.3	19.0	10.0
TP 20%	15.4	30.0	8.6	18.0	8.2
TP 30%	17.8	32.0	10.5	20.0	8.5
NPK + OM	22.5	41.0	10.1	27.0	8.1
NPK + OP 10%	23.9	42.0	15.5	30.0	10.7
LSD (5%)	6.02	8.20	5.21	7.64	2.96
LSD (1%)	8.56	11.66	7.42	10.86	4.21



Fig. 3-75. 배추의 처리별 생육 상황



Fig. 3-76. 3차 추비시의 포장 전경

다. 적요

Perlite 부유흡착반응 전공정과 후공정에서 생산된 Perlite 시제품의 비교하면 다음과 같다.

1) 부유흡착 공정에서 생산된 Perlite 부유물을 시비한 경우(1차년도)

부유흡착 공정에서 생산된 <Perlite-돈분처리시제품>의 비료성분을 평가하기 위하여 온실시험(시험 1)과 포장시험(시험 2)을 수행하였다. <시험 1>에서는 시제품을 처리한 후 상추를 재배하였고, <시험 2>에서는 배추를 재배하였다. 시제품 처리가 작물의 생육상황, 수량 및 토양비옥도에 미치는 영향을 평가하였다.

가) (NPK + OM 구)와 (NPK + TP 구)에서 상추의 엽장, 엽폭 및 엽수가 양호하였으며 주당 엽면적도 넓었다.

나) (NPK + OM 구)와 (NPK + TP 시용구)에서 상추의 수량이 많았다.

다) 식물체중의 양분함량은 (NPK 시용구)에서 T-N, CaO 및 MgO의 함량은 높았으나, P₂O₅ 및 K₂O 함량은 처리간, 생육시기간에 변화를 보이지 않았다.

라) 수확기 토양중 화학성 변화는 처리간에 별다른 차이를 보이지 않았다.

마) 배추에 대한 시험은 아직 생육중에 있으나 엽장, 엽폭 및 엽중에서 (NPK + TP 30%)와 (NPK + OM 구)에서 양호한 경향을 보였다.

바) 현재까지의 결과로 보아 축산폐수처리 Perlite의 농업적 이용이 가능할 것으로 사료된다.

2) 후처리용 Perlite 컬럼 공정에서 생산된 Perlite 부유물을 시비한 경우(2차년도)

<Perlite 돈분처리 시제품>의 비료 성분을 평가하기 위하여 시제품의 분석과 Vinylhouse에서의 상추 pot 시험과 포장에서 배추의 시험을 수행하였다. Perlite 시제품 처리가 작물의 생육에 미치는 영향과 수량 및 토양 비옥에 미치는 영향을 평가하였다.

- 가) Perlite 시제품의 물리 화학적 특성은 pH가 7.03~7.06의 중성이며, EC가 7.53~7.96ds/m로 다소 높으나 그외의 성분 함량은 적은 편이다.
- 나) 상추의 pot 시험에서 NPK의 83.3g/1주에 비하여 NPK+OM이 55.6%, NPK+TP30%는 19.6%로 수량이 많았다.
- 다) 배추의 생육 상황은 NPK 시용구가 가장 양호하였다.
- 라) 배추의 포장 시험은 가을의 극심한 가뭄에 의해 생육이 다소 저조하였다.
- 마) 1차 분석용 Perlite 시제품은 작물 재배를 위한 토양 개량제로 사용할 수 있을 것으로 생각된다.
- 바) 포장 시험용으로 2차에 공급된 Perlite는 각종 성분 함량이 극히 적어 토양개량제로서 사용이 곤란할 것으로 생각된다.

3. 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 농업적 활용방안 III

농업 활동에 의해 주변 토양 및 수질환경이 오염되고 있는 실정이며, 축산폐수 처리 공정을 통해 생산되는 시제품도 일종의 폐기물로 발생된다. Perlite는 토양의 물리성·개량제로 사용되고 있으며 생산되는 시제품은 미세 공극에 유기물 입자를 흡착 또는 보유하고 있기 때문에 농업적인 활용성이 크다고 판단된다. 이는 자원을 재활용함과 동시에 축산폐수 처리 공정에 의한 축산폐수 처리 효율을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. Perlite는 다공성의 물질이고 비중이 낮기 때문에 비료나 토양 개량제로 활용시 혼합비율, 처리농도 등에 관한 적정 조건을 고려해야 한다. 축산폐수 처리 공정에서 생산된 시제품도 처리량, 처리방법, 시기 등에 관한 연구가 선행되어서 부산물 비료 또는 토양개량제로서의 적합한 활용방안을 모색할 수 있다.

가. 농업적 활용방안 평가방법

본연구는 Perlite를 이용한 축산폐수 처리 공정에서 생산된 부산물인 Perlite 돈분 처리 시제품의 비효를 평가하기 위한 목적으로 비닐하우스 내에서 pot(시험 I) 시험과 포장(시험 II) 시험을 수행하였다. <시험 I>에서는 시제품을 처리한 후 상추를 재배하였고, <시험 II>에서는 배추를 재배하였다. 시제품 처리가 작물의 생육상황, 수량 및 토양 비옥도에 미치는 영향을 평가하였다.

1) 공시토양

본 시험에 공시된 토양은 춘천시 우두동 278-1번지에 소재한 농가의 토양을 사용하였다. pot 시험에 사용된 토양은 토양 표면의 불순물을 제거한 후 토양을 채취하여 돈분이 처리된 시제품 Perlite와 혼합한 토양을 사용하여 비닐하우스 내에서 상추를 재배하였다. 포장 시험은 <시험 I>의 토양시료 채취 포장을 사용하였으며, 시제품 Perlite를 정식 10일전인 7월 1일에 기비와 토양개량제를 시용한 후 배추 재배 시험을 수행하였다. 공시 토양의 특성은 강서통 세사양토로서 토성은 작물 생육에 양호한 사양토이나 비옥도가 다소 낮은 경향을 보이고 있다.

Table 3-51. Chemical properties of the experimental soil

pH	T-N	P ₂ O ₅	OM	Exch. (cmol(+)/kg)				CEC
(1:5)	%	mg/kg	%	K	Ca	Mg	Na	(cmol(+)/kg)
6.2	0.16	177.0	2.5	0.49	2.95	1.2	0.04	9.94

공시 토양의 화학적 특성은 Table 3-51. 과 같이 pH가 6.2로 약산성이며, T-N은 0.16%, P₂O₅와 OM은 각각 177mg/kg과 2.5%로서 밭토양의 적정수준에 가까우나 그 외의 치환성 양이온 함량은 낮은 수치를 보였다.

2) 시제품 Perlite

Table 3-52. Chemical properties of the experimental products which treated piggery manure with Perlite

pH	EC	수분 함량	OM	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	OM/N
(1:5)	mS/cm		-----			%	-----			ratio
7.48	5.91	30.63	42.77	1.82	0.262	2.084	0.989	0.811	0.395	23.71
Fe	Cu	Zn	Cd	As	Al	Hg	Pb	Cr		
			-----			mg/kg	-----			
1333.3	582	234.0	ND	ND	998.0	ND	ND	ND	ND	

시제품 Perlite의 화학적 특성은 Table 3-52. 와 같이 pH는 7.48로서 중성이며, T-N은 1.82% P₂O₅는 0.262% 그리고 K₂O는 2.804%로 높은 함량을 보였고, 유기물 함량도 42.77%로 높은 경향을 보였다. 그 외의 다른 성분의 함량으로서는 토양개량제 및 부산물 비료로서 활용될 가치가 높은 것으로 판단된다. 또한 이 시제품 중의 중금속 함량은 거의 검출되지 않았다.

3) 공시작물

<시험 I>은 엽상추(*Lactuca Sativa* L. Lettuce)인 청치마 상추(농협씨앗)를 공시품종으로 하여 육묘상에서 육묘하여 파종 후 22일 묘를 채취하여 이식하였다. 1/5000a의 소형 Wagner Pot에 일정량의 토양과 시제품 Perlite를 잘 혼합하여 충진하였으며, 기비를 평량하여 표토에 뿌린 후 잘 혼합하고 관수 후 묘를 이식하였다. 시험 기간 중 매일 1회씩 동일량의 물을 관수하여 생육에 장애가 발생하지 않도록 주의하였으며 그 외의 관리는 강원도 표준경종법에 준하여 철저히 관리하였다. pot당 시비량은 <표3>과 같이 성분량으로 N-27.6kg/10a, P-15.0kg/10a 및 K-21.0kg/10a에 해당되는 양을 평량하여 각 pot에 시용하였다. <시험 II>의 공시작물은 배추(*Brassica Compestris* L. ssp. *Pekinensis* Rupr.)인 신천 엷갈이 배추(농협씨앗)를 공시하였다. 상토를 충진시킨 25공 연결 Pot에 종자를 파종하였으며 파종 후 21일 묘를 본 포장에 정식하였다. 본 포장의 준비는 먼저 작물이 심겨질 줄을 표시한 후 관리기의 로타리로 깊이 파낸 후 각 구별로 구획을 작성하고 그위에 퇴비와 개량제 및 시제품 Perlite를 평량하여 시용한 후 흙을 약간 덮어 복토하고 그위에 화학비료 중 기비에 해당되는 양을 평량하여 시용한 후 다시 관리기로 고랑을 깊이 파서 복토하여 배추가 심겨질 두둑을 만들었다. 배추의 재식거리는 휴간 80cm와 주간 40cm로 하여 3,125주/10a로 하였다. 화학비료의 시비량은 성분량으로 10a당 N-32, P-20, K-27kg으로 하고 기비에 해당되는 양을 평량하여 시용하였다. (표4) 그 외의 포장관리법과 시비방법등은 강원도 표준경종법에 준하여 수행하였다.

4) 처리방법

각 시험 I, II의 처리 내용은 Table 3-53. 와 Table 3-54. 와 같이 NPK처리 외 8개 처리로 하였으며 각처리 공히 3반복으로 수행하였다. 시험구 배치는 완전임의 배치법(Complete Randomized Design)에 의 하였다.

Table 3-53. Treatment combinations for Lettuce growth in the greenhouse

Treatment	Remarks
1. Control	N : 27.6 P : 15 K : 21kg/10a
2. NPK	
3. NPK + T-Perlite(TP) 10%	N : Basal dress - 50%
4. NPK + T-Perlite(TP) 20%	1. Top dress - 16.7%
5. NPK + T-Perlite(TP) 30%	2. Top dress - 16.7%
6. T-Perlite 10%	3. Top dress - 16.7%
7. T-Perlite 20%	P : Basal dress - 100%
8. T-Perlite 30%	K : Basal dress - 57%
9. NPK + OM(1,500kg/10a)	Top dress - 43%

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis.

Table 3-54. Treatment combinations for Chinese cabbage growth in the field experiment

Treatment	Remarks
1. Control	N : 36 P : 26 K : 27kg/10a
2. N.P.K	
3. NPK + T-Perlite 10%	N : Basal dress - 36%
4. NPK + T-Perlite 20%	
5. NPK + T-Perlite 30%	
6. T-Perlite 10%	1. Top dress - 21.4%
7. T-Perlite 20%	2. Top dress - 21.4%
8. T-Perlite 30%	3. Top dress - 21.4%
9. NPK + OM(1,500kg/10a)	P : Basal dress - 100%
	K : Basal dress - 55%
	Top dress - 45%

- N.P.K : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis.

나. 농업적 활용방안 평가결과

1) <시험 I> Perlite 시제품이 상추의 생육 및 수량과 토양비옥도에 미치는 영향
(pot 시험 : 3년차)

가) 상추의 생육상황

상추의 생육 상황은 대체로 양호한 편이었으며 Table 3-55. 에서 보는 바와 같다.

Table 3-55. Growth parameters of Lettuce as influenced by experimental product of the Perlite treated piggery manure

Treatment	엽장(cm)			엽폭(cm)			엽수(개/plant)		
	25days	35days	Har	25days	35days	Har	25days	35days	Har
Control	11.4	13.3	16.3	4.9	5.6	6.3	5.3	5.3	10.7
N P K	13.0	20.8	22.2	6.3	9.2	10.0	6.2	11.1	16.3
NPK +TP 10%	16.6	18.9	23.3	8.0	9.3	10.0	7.4	11.8	17.7
NPK +TP 20%	16.5	18.8	27.0	8.1	9.4	10.0	6.7	14.2	21.3
NPK +TP 30%	16.7	18.7	27.2	8.3	9.9	10.7	7.4	13.6	22.7
TP 10%	15.4	18.3	23.7	7.1	8.0	9.8	5.9	9.9	16.0
TP 20%	13.9	19.8	25.5	6.7	9.5	10.5	6.4	13.1	19.0
TP 30%	14.6	18.4	27.0	6.8	8.8	9.7	6.8	12.7	19.7
NPK+OM(1500kg/10a)	13.9	19.2	26.3	8.0	9.8	11.0	7.8	12.0	24.5
LSD(5%)	1.19	2.72	0.76	0.95	0.94	0.84	0.58	2.26	2.43
LSD(10%)	1.63	3.70	1.04	1.29	1.29	1.14	0.79	3.09	3.31

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 25days : 25 days after treatments

- 35days : 35 days after treatments
- Har : at harvest time
- LSD : Least Significant Difference

각 처리의 엽장 및 엽폭, 엽수의 생육상황은 NPK 시용구에 비하여 NPK+TP10%, NPK+TP20% 및 NPK+TP 30% 등의 처리구가 양호하였으며, NPK+OM(1500kg/10a) 처리구도 생육이 양호하였다. NPK를 시용하지 않고 TP만을 시용한 구도 생육은 다소 양호하였으나 시용량간에는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 처리간 엽수의 변화는 Perlite 시제품의 시용량이 증가할수록 엽수가 증가하였으며, NPK 시용구에서 TP 시용량 증가의 효과가 뚜렷하게 나타났으며 정식 후 25일 조사구에서는 처리간에 큰 차이가 없었으나 시간이 경과할수록 차이가 커졌으며, 수확기 조사에서는 현저한 차이를 보였다. 그러나 NPK+OM 처리구 보다는 적은 경향을 보였다.

나) 상추의 수량상황

상추의 수량인 생중량은 Table 3-56. 와 Fig. 3-77., Fig. 3-78. 에서 보는 바와 같이 수확기 NPK구의 45.07g/1주에 비하여 NPK+OM(1500kg/10a)구는 92.15g/1주로서 204%의 가장 높은 수량 증가를 보였으며, NPK+TP30%구도 66.8g/1주로 148%의 증수 경향을 보였다. 시제품 Perlite의 시용량이 증가할수록 수량이 증가하였으며, NPK 무시용 TP 시용구보다 NPK+TP 시용구에서 더 높은 수량 증가를 보였다. 이것은 Perlite 시용량이 증가함에 따라 상추의 엽수가 증가하였기 때문으로 생각된다.

Table 3-56. Yield parameters of Lettuce as influenced by experimental product of the Perlite treated with piggery manure

Treatment	생중량(g/plant)		Index (%)
	25days	Har	
Control	5.9	14.60	32.4
N P K	18.64	45.07	100
NPK +TP 10%	19.96	47.93	106.3
NPK +TP 20%	19.68	60.55	134.3
NPK +TP 30%	26.78	66.8	148.2
TP 10%	15.33	43.27	96.0
TP 20%	22.66	48.33	107.2
TP 30%	20.66	53.17	117.9
NPK +OM(1500kg/10a)	33.99	92.15	204.4
LSD(5%)	8.03	22.19	
LSD(10%)	10.95	30.27	

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 25days : 25 days after treatments.
- Har. : at harvest time
- LSD : Least Significant Difference

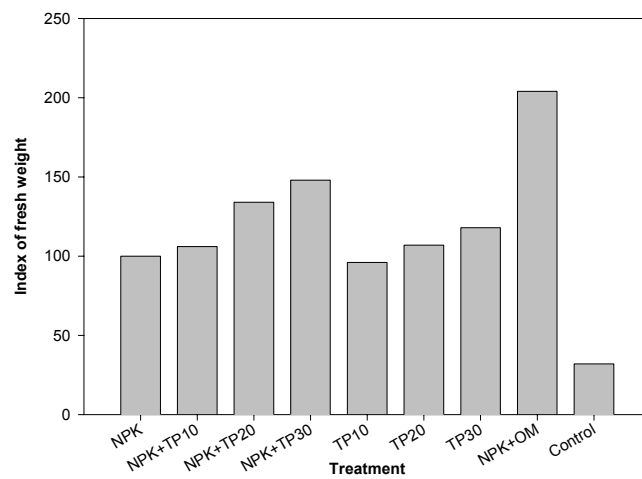


Fig. 3-77. Yield index of fresh weight for Lettuce at harvest

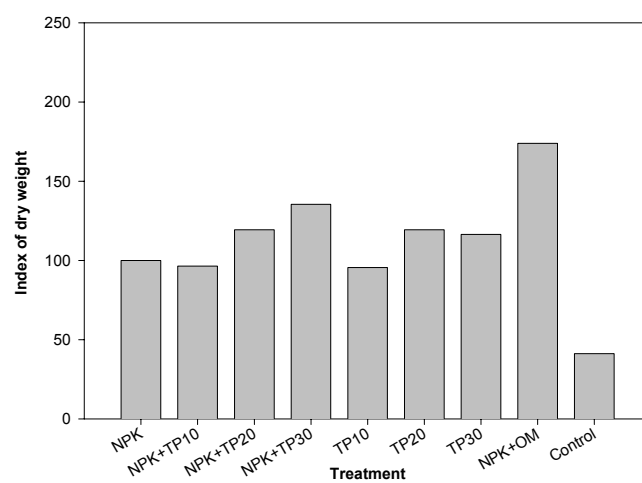


Fig. 3-78. Yield index of dry weight for Lettuce at harvest

Fig. 3-77. 의 처리간 생중의 수량 지수를 비교해보면 NPK+OM구가 204%로 가장 높았으며, NPK+TP30%구(148%)와 NPK+TP20%구(134%)도 높았고 TP30%구도 118%를 보였다. Fig. 3-78. 는 수확기 상추의 주당 건물중을 처리별 수량지수를 비교하였다. NPK구를 100으로 할 때 NPK+OM(1500kg/10a)이 173.9, NPK+TP30%구가 135.4, NPK+TP20%와 TP20%구도 각각 119.4로서 높은 건물중 지수를 보였다. Fig. 3-79., Fig. 3-80., Fig. 3-81., Fig. 3-82. 는 각 처리구별 상추의 생육을 비교한 것이다. 상추의 생육 상황은 전체적으로 양호하였으며 그중에서도 NPK+OM 및 NPK+TP30%구에서 가장 양호하였다.



Fig. 3-79. Growth of Lettuce as influenced by experiment of product of the Perlite piggery manure treatments.



Fig. 3-80. Comparisons of Lettuce growth between (Control), (TP30), (TP20), (TP10), (NPK+TP30), (NPK+TP20), (NPK+TP10), (NPK+OM) and (NPK) treatment



Fig. 3-81. Comparisons of Lettuce growth between (Control), (NPK+TP30), (NPK+TP20), (NPK+TP10) and (NPK) treatment

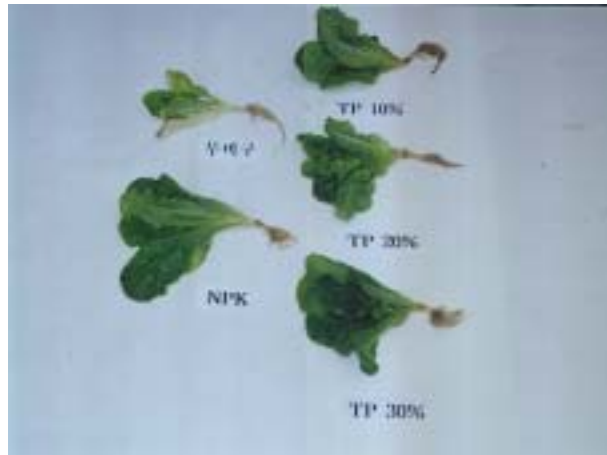


Fig. 3-82. Comparisons of Lettuce growth between (Control), (NPK), (TP 10%), (TP20) and (TP30) treatment

다) 상추 식물체 중 양분함량 변화

정식후 35일과 수확기 상추 식물체중 영양소의 흡수량 변화는 Table 3-57. 에서 보는 바와 같다. 식물체중의 양분 종류별 함량을 비교해보면 T-N의 함량이 가장 많았으며, 그다음이 K_2O 이었다. 그 외의 양분들간에는 차이가 없이 거의 비슷하였으나 P_2O_5 의 함량이 가장 적었다. 각 처리별 식물체 중의 양분 함량을 비교해보면 T-N에서는 NPK에 비하여 NPK+TP구가 높은 경향을 보였으며 TP시용량이 증가할수록 함량도 증가하는 경향을 보였다. 생육 시기간에는 개량제나 시제품 등의 시용량이 증가한 구는 생육중인 35일구보다 수확기에 더 많았으나 시용량이 적었던 구에서는 35일 조사구의 함량이 많거나 비슷한 경향을 보였다. K_2O 에서도 T-N과 비슷한 경향이었으나 함량이나 차이가 크지 않았다. 그 외의 양분들은 양분간, 생육시기간 및 처리간에 별차이를 보이지 않았다.

Table 3-57. Nutrient uptake by Lettuce leaf as affected by treatment

combinations(%)

Treatment	T-N		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO	
	35days	Har.	35days	Har.	35days	Har.	35days	Har.	35days	Har.
Control	2.59	1.41	0.32	0.30	1.06	1.04	0.64	0.60	0.37	0.43
NPK	3.93	2.86	0.34	0.37	1.34	1.37	1.02	1.24	0.75	0.79
NPK +TP 10%	4.23	3.39	0.36	0.34	1.38	1.40	0.68	0.84	0.71	0.74
NPK +TP 20%	4.41	4.45	0.38	0.38	1.40	1.41	0.73	0.82	0.76	0.70
NPK +TP 30%	3.92	3.99	0.42	0.40	1.46	1.48	0.70	0.87	0.74	0.76
TP 10%	3.55	2.21	0.38	0.36	1.27	1.24	0.72	0.78	0.48	0.52
TP 20%	3.73	2.72	0.37	0.36	1.36	1.38	0.68	0.70	0.49	0.44
TP 30%	4.10	3.42	0.40	0.38	1.37	1.36	0.74	0.68	0.52	0.58
NPK +OM	4.11	4.13	0.39	0.42	1.68	1.52	1.08	1.04	0.85	0.78

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 35days : 35 days after treatments.
- Har : at harvest time
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis.

라) Perlite 시제품 처리가 토양화학성에 미치는 영향

각 처리별 생육시기에 따른 토양의 화학성 변화는 Table 3-58. 과 같다.

Table 3-58. Chemical properties of soil.

Treatment	pH (1:5)			EC (uS/cm)			OM (%)			Ava-P (mg/kg)		
	25day	35day	Har.	25day	35day	Har.	25day	35day	Har.	25day	35day	Har.
Control	6.31	6.71	6.78	72.0	60.3	62.3	1.01	1.27	1.15	110.7	127.3	124.7
NPK	5.68	5.81	5.94	148.7	109.0	105.6	1.34	1.54	1.69	153.5	198.2	221.3
NPK+TP10	6.33	6.55	6.75	181.7	150.7	162.2	1.86	1.21	1.25	232.6	334.1	338.7
%												
NPK+TP20	6.02	6.68	6.64	353.3	185.0	181.6	1.87	1.38	1.67	572.4	636.5	627.9
%												
NPK+TP30	6.27	6.95	7.02	313.3	152.7	232.7	1.90	1.41	1.51	720.5	560.3	558.9
%												
TP 10%	6.59	6.88	6.69	109.0	74.3	102.2	1.35	1.72	1.64	128.2	170.5	168.6
TP 20%	6.61	6.83	6.87	175.3	103.3	124.5	1.52	1.87	1.82	319.4	575.3	526.2
TP 30%	6.79	7.09	7.14	250.0	166.0	190.0	1.75	1.45	1.63	444.2	525.8	509.0
NPK +OM	7.70	7.67	7.71	452.0	372.0	381.0	4.74	4.47	4.46	622.6	747.9	746.6

Treatment	K			Ca			Mg		
	(cmol(+)/kg)			(cmol(+)/kg)			(cmol(+)/kg)		
	25day	35 day	Har.	25 day	35 day	Har.	25 day	35 day	Har.
Control	2.84	2.52	2.41	21.4	29.8	22.2	6.52	7.26	6.63
NPK	3.79	2.87	3.17	17.3	23.4	23.9	5.80	6.19	6.28
NPK+TP10	4.33	3.31	3.32	22.87	24.3	25.3	7.92	2.96	8.07
%									
NPK+TP20	7.70	4.96	5.69	24.82	27.8	27.3	11.38	11.99	11.43
%									
NPK+TP30	8.44	4.15	7.19	26.24	33.6	36.7	12.69	12.14	11.61
%									
TP 10%	3.20	3.01	3.24	22.58	29.7	28.6	7.42	7.93	8.40
TP 20%	4.47	4.20	4.26	24.55	27.2	28.7	8.84	9.45	9.59
TP 30%	6.45	5.45	5.58	24.35	29.6	28.3	11.09	14.5	11.41
NPK +OM	15.07	11.00	12.25	99.58	136.1	127.2	12.20	16.13	18.95

- NPK : NPK fertilizer as recommended

- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 25days : 25 days after treatments.
- 35days : 35 days after treatments.
- Har : at harvest time
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis.

조사 시기별 각성분 함량의 변화를 보면 EC는 파종 후 25일에 비해 생육 시기가 진전되면서 그 농도가 크게 감소하였으나 NPK+OM구는 그 변화가 극히 완만하게 나타났다, 그외의 pH를 비롯한 모든 성분들은 생육이 진전됨에 따라 다소 증가하거나 변화가 없이 같은 함량 분포를 나타내고 있다. 그러나 처리간에는 차이가 크게 나타나 pH는 NPK구가 5.68~5.94의 범위에 있으나 NPK+OM구는 7.67~7.71로 매우 높게 나타났으며 TP30% 시용구는 7.0에 육박하는 결과를 보였다.

EC에서는 NPK+OM구에서 아주 높은 함량 분포를 보였으며 Perlite의 시용량이 증가할수록 EC의 농도가 높았으며 특히 NPK를 병용한 구에 더욱 높은 농도를 보였다. 유기물 함량에서는 NPK+OM구(4.46%~4.74%)가 가장 높은 함량을 보였고, Perlite 시용구도 다소 증가하는 경향을 보였으나 그 증가폭은 크지 않았다. 유효인산 함량의 토양중 변화에서 NPK+OM구(622.6mg/kg~747.9mg/kg)으로 가장 높은 함량을 보였으며 Perlite의 시용량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 그외 치환성 양이온인 K, Ca 및 Mg 등의 함량 변화에서도 NPK+OM구에서 각 성분 공히 가장 높은 함량 분포를 보여 수확기 토양 중 K는 12.25 cmol(+)/kg, Ca는 127.2cmol(+)/kg 그리고 Mg는 18.95 cmol(+)/kg이었으며 기타 Perlite 시용구도 높은 함량 분포를 보였다.

Fig. 3-83., Fig. 3-84., Fig. 3-85. 는 은 수확기 토양 중 양분함량 분포를 각 성분별로 NPK 처리구의 함량을 100으로 할 때의 비를 가지고 비교한 그림이다.

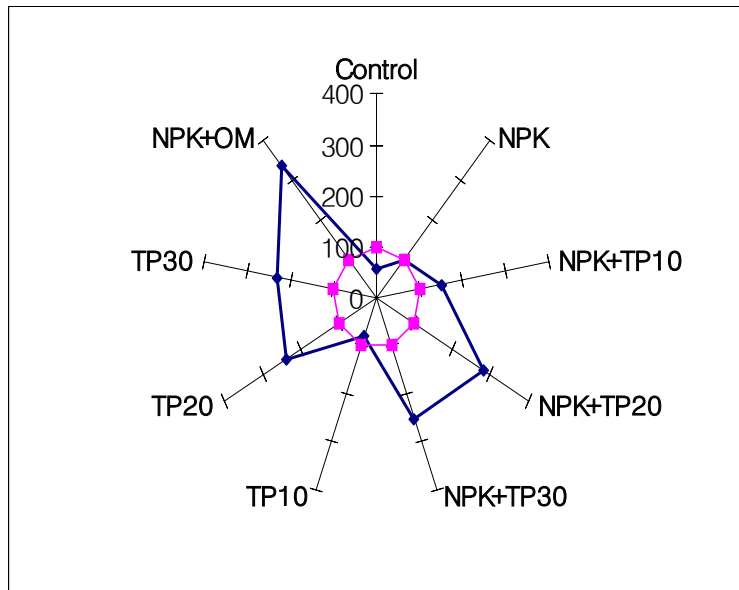


Fig. 3-83. 처리별 토양 중 유효태 인산 함량 분포

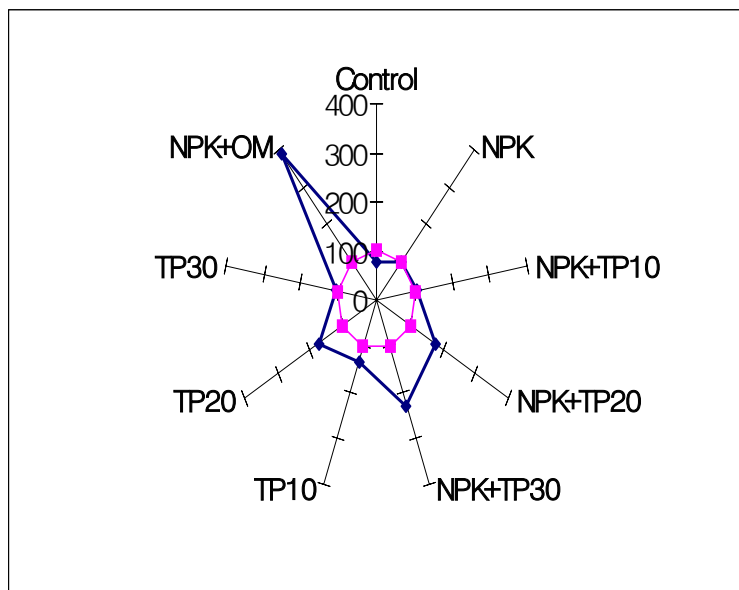


Fig. 3-84. 처리별 토양 중 치환성 K 함량 분포

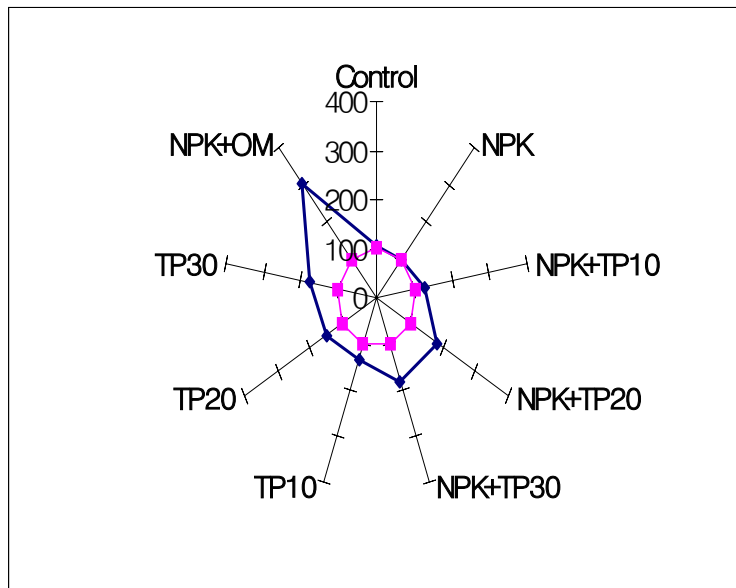


Fig. 3-85. 처리별 토양 중 치환성 Mg 함량 분포

2) <시험 2> Perlite 시제품이 배추의 생육 및 수량과 토양비옥도에 미치는 영향
(포장시험 : 3년차).

가) 배추의 생육 상황 및 수량

배추의 초기 생육 상황은 대체로 양호한 편이었으나 후기의 수확기에는 고온과 가뭄에 의해 다소 저조하였으나 시험 결과를 얻기에는 충분하여 그 결과를 다음과 같이 정리 보고하는 바이다.

배추의 생육 및 수량 상황은 대체로 양호한 편이며 생육 초기인 정식 25일후의 생육 상황은 NPK의 엽장 29.8cm에 비해 NPK+OM구의 30.4cm가 약간 크며, 그외의 처리는 같거나 작아지는 경향이었고 특히 Perlite 다량 시용구인 NPK + TP30%구나 TP30%구가 약간 작았는데 이것은 다량 시용된 Perlite로 말미암아 초기 수분 공급 부족에 의한 것으로 생각되나 후기에는 충분한 강수량으로 인해 회복되었다.

수량 및 수량 구성 요소를 보면 NPK구(2.447kg/10a)에 비하여 NPK+TP30%구가 143.4%로 가장 증수되었는데 이것은 구고와 구폭이 클 뿐만아니라 엽장과 엽폭이 커

증수된 것으로 생각된다. Perlite 시용량간에는 NPK+TP10%는 128.2%, NPK+TP20%는 142.6% 그리고 NPK+TP30%순으로 증수된 것으로 보아 Perlite의 시용량이 증가하므로 배추의 수량이 증수되었다. NPK를 병용하지 않은 구에서도 Perlite의 시용량을 증가할수록 증수되었으나 NPK 병용구에 비하여는 크게 감수되는 경향이였다. 수량 구성 요소인 구고 및 구폭이나 엽장, 엽폭도 수량과 같은 경향을 보였다.

Table 3-59. Growth and Yield parameters of Chinese cabbage as influenced by experimental product of the Perlite treated with piggery manure

Treatment	25 days			엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개/1주)	구고 (cm)	구폭 (cm)	수량 (kg/10a)	지수 (%)
	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개/1주)							
Control	27.4	17.1	15.2	31.0	17.0	81.0	16.0	3.5	1.618	66.1
NPK	29.8	18.2	16.6	44.0	24.0	88.0	22.0	8.0	2.447	100
NPK+TP10%	29.9	20.9	17.1	43.0	24.0	91.0	21.0	8.0	3.137	128.2
NPK+TP20%	29.7	20.3	17.2	44.0	22.0	91.3	21.0	10.0	3.490	142.6
NPK+TP30%	29.0	20.8	17.5	45.0	25.0	89.0	23.0	9.5	3.509	143.4
TP 10%	30.9	19.9	17.0	41.5	23.0	91.3	18.5	7.5	2.419	98.5
TP 20%	29.5	19.4	17.1	40.0	24.5	92.0	20.5	7.5	2.334	95.4
TP 30%	29.1	19.1	17.2	40.0	25.0	92.0	21.0	10.0	3.078	125.8
NPK +OM	30.4	19.5	17.5	45.5	24.5	86.0	22.0	8.5	3.090	126.3

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 25days : 25 days after treatments.
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis.

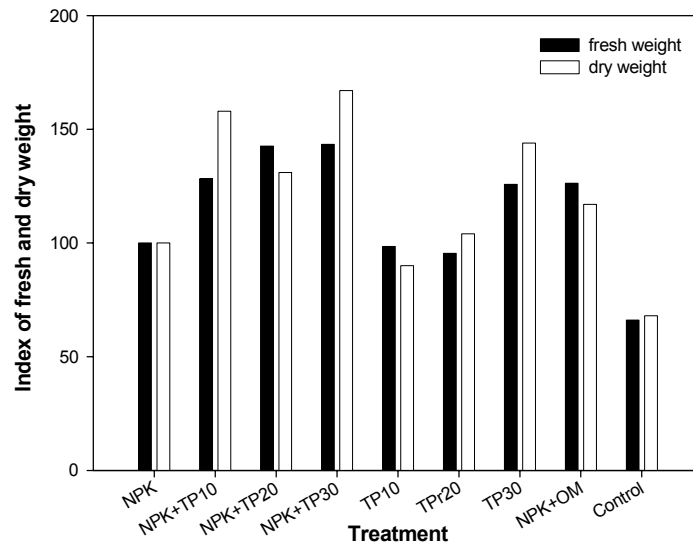


Fig. 3-86. Yield index of fresh and dry weight for Chinese cabbage at harvest

Fig. 3-86. 은 처리별 수량 및 건물중을 나타낸 것이다. 건물 중 역시 수량과 같이 NPK+Perlite 처리구가 전체적으로 무거운 경향을 보여 건실한 생육을 볼 수 있다.



Fig. 3-87. 배추묘 정식 25일후의 포장 전경



Fig. 3-88. 배추 속 비교



Fig. 3-89. 배추 구중의 처리별 비교



Fig. 3-90. 수확후 처리별 비교

나) 배추에 의한 영양소의 흡수

수확기 식물체 중 양분의 흡수 변화를 보면 Table 3-60. 에서 보는 바와 같다. 식물체 중 양분 종류별 함량 분포를 비교해보면 T-N의 함량이 가장 많았으며, 다음이 K_2O , CaO의 순이며 MgO와 T-P의 순을 보였다. Fe와 Al은 극히 적은 양을 보였다. 처리별 T-N 함량의 변화를 보면 NPK구의 3.66%에 비하여 NPK+TP구가 4.08~4.52%로 가장 높았으며 NPK+OM구도 4.28%로 높은 함량 분포를 보였다. TP구도 NPK구에 비하여 다소 높은 경향을 보였다. 또한 K_2O 의 함량 변화도 T-N와 같은 경향을 보였으며 NPK(1.34%)에 비하여 NPK+TP구(1.66%~1.78%)가 모두 많은 함량 분포를 보였고 Perlite의 시용량이 증가할수록 함량도 증가하는 경향을 보였다. 그외의 모든 양분들도 같은 경향을 보였다.

Table 3-60. Nutrient uptake by Chinese cabbage as affected by treatment

combinations

Treatment	T-N	T-P	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Al
	- - - - - % - - - - -					- - mg/kg - -	
Control	3.24	0.38	1.29	0.94	0.42	0.07	0.12
NPK	3.66	0.43	1.34	1.34	0.62	0.15	0.22
NPK + TP 10%	4.52	0.43	1.66	1.19	0.69	0.03	0.02
NPK + TP 20%	4.14	0.42	1.78	1.24	0.70	0.02	0.03
NPK + TP 30%	4.08	0.47	1.70	1.36	0.64	0.02	0.02
TP 10%	3.43	0.40	1.24	0.96	0.68	0.04	0.07
TP 20%	3.68	0.39	1.69	0.98	0.64	0.05	0.06
TP 30%	4.20	0.42	1.54	1.04	0.67	0.03	0.04
NPK + OM	4.28	0.54	1.94	1.56	0.98	0.06	0.07

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis

다) Perlite 시제품 처리가 토양의 화학성 변화에 미치는 영향

각 처리별 생육중 및 수확기 토양의 화학성 변화를 보면 Table 3-61. 과 같다.

Table 3-61. Chemical properties of soil as affected by treatments.

Treatment	pH		Ava-P ₂ O ₅		K		Ca		OM		T-N	
	(1:5)		mg/kg		- - cmol(+)/kg		- -		- - - %		- - -	
	35days	Har	35days	Har	35days	Har	35days	Har	35days	Har	35days	Har
Control	7.47	7.40	776	791	12.2	10.1	64.2	60.3	1.81	1.73	0.19	0.18
NPK	7.30	7.24	813	810	11.1	10.1	70.7	68.7	1.84	1.70	0.26	0.24
NPK+TP	7.13	7.27	810	817	13.2	14.9	67.7	70.1	1.94	2.04	0.26	2.04
10%												
NPK+TP	7.41	7.41	824	820	17.9	18.1	92.7	84.4	2.10	2.01	0.26	2.01
20%												
NPK+TP	7.22	7.38	816	812	16.2	15.3	96.3	96.1	2.09	2.18	0.27	2.18
30%												
TP 10%	7.41	7.34	802	812	14.2	16.7	105.4	110.9	1.80	1.82	0.24	1.82
TP 20%	7.45	7.39	801	810	17.7	16.7	107.6	105.0	1.78	1.81	0.25	1.85
TP 30%	7.40	7.39	806	801	17.9	16.1	118.5	102.0	2.01	1.90	0.25	1.90
NPK +												
OM	7.42	7.49	850	891	12.2	14.6	102.8	96.1	1.92	2.46	0.34	2.46

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis
- Har : at harvest time
- 35days : 35 days after treatments.

각 성분 공히 수확기에서 다소 감소하는 듯 하나 생육 시기간에는 큰차이를 보이지 않았다. 처리간 pH의 변화를 보면 NPK구(7.24~7.30)에 비하여 OM 이나 Perlite를 처리한 구에서 약간 높은 경향을 보였으나, 처리간에는 별다른 차이를 보이지 않았다. 유효인산의 경우도 NPK의 813~810 mg/kg에 비하여 생육 시기간이나 처리간에 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 그외 K, Ca, OM 등은 NPK+TP구에서 높은 함량 분포를 보였으며 Perlite의 시용량이 증가할수록 토양 중 함량이 크게 증가하는 경향을 보였다. 또한 T-N은 정식후 35일에 비해 수확후의 토양 중 함량이 크게 높았으며, 처리간에는 NPK(0.24%)에 비해 NPK+OM이 2.46%로 가장 높았으며 NPK+TP구(2.01%~2.18%)가 다음이었고 TP구(1.82%~1.90%) 순으로 나타났다.

Table 3-62. 는 시험 후 토양 중 미량 원소와 중금속의 함량을 나타낸 것이다.

Table 3-62. Chemical properties of soil as affected by treatments

Treatment	Fe	Cu	Zn	Cd	Ni	Al	Mn	Pb	Cr
	----- mg/kg -----								
Control	10.7	ND	19.3	ND	ND	445.5	44.9	ND	ND
NPK	26.4	0.77	17.9	ND	ND	745.0	54.0	0.89	ND
NPK + TP 10%	20.2	0.14	42.8	ND	ND	458.0	72.5	ND	ND
NPK + TP 20%	29.6	0.50	53.0	ND	ND	575.0	82.0	ND	ND
NPK + TP 30%	35.8	0.77	56.0	ND	ND	565.0	83.0	ND	ND
TP 10%	22.9	0.20	46.7	ND	ND	470.5	70.5	ND	ND
TP 20%	25.0	0.30	50.0	ND	ND	460.0	75.5	ND	ND
TP 30%	26.7	0.35	62.0	ND	ND	450.0	85.0	ND	ND
NPK + OM	0.35	ND	5.80	ND	ND	75.5	30.1	ND	ND

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis

Fe, Cu 및 Al등은 처리간에 별다른 차이를 보이지 않았으며 Zn과 Mn등은 Perlite 사용으로 함량이 증가하는 경향을 보였으며 Cd, Ni, Pb 및 Cr등은 검출되지 않았다. 이상의 결과로 볼 때 돈분처리된 Perlite는 토양개량제로서의 효과가 인정되나 사용 원료로 쓰이는 Perlite의 종류에 따라 차이가 있을 것으로 사료되므로 이에 대한 시험도 수행되어야 할것으로 생각된다.

다. 적요

본 연구에서는 <Perlite-돈분처리 시제품>의 비료 성분을 평가하기 위하여 pot시험(시험1)과 포장 시험(시험2)을 수행하였다. <시험 1>에서는 시제품을 처리한 후 상추를 이식 재배하였으며, <시험 2>에서는 배추를 재배하였다. 시제품 처리가 작물의 수량·생육 및 토양 비옥도에 미치는 영향을 평가하였다.

- 1) NPK구에 비하여 NPK+OM구와 NPK+TP구 등이 생육이 양호하여 엽장, 엽폭 및 엽수가 많았다.
- 2) NPK+OM구와 NPK+TP30%구가 가장 증수되었다.
- 3) 식물체 중 양분 흡수량은 OM 및 Perlite 시용구에서 높은 함량 분포를 보였으며 생육시기간에는 큰 차이를 보이지 않았다.
- 4) 토양 중 양분 함량의 변화도 OM 및 Perlite 시용구에서 높았으며 Perlite 시용량 증가에 따라 높아지는 경향이였다.

4. 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 농업적 활용방안 3개년 종합

인간의 문화가 발달함에 따라 의식주뿐만 아니라 생활 모든 환경이 집약적으로 발전함에 따라 생활 쓰레기의 발생이 급진적으로 증가할 뿐만 아니라 가축 재배도 집약적으로 사육함에 따라 발생하는 축산폐수에 의한 환경오염도 점차 증가하는 추세를 보이고 있다. Perlite를 사용하여 축산폐수를 물리적으로 처리할 때 Perlite는 질소화합물과 유기물 등을 흡착하므로 토양의 물리 화학적 개량 효과뿐만 아니라 작물에 필요한 각종 영양분의 공급원으로도 중요한 역할을 하게 된다.

본 연구는 축산폐수를 처리한 후 발생하는 Perlite 시제품을 시용했을 때 상추와 배추의 생육과 수량 및 양분흡수에 미치는 영향과 토양의 물리 화학적인 특성에 미치는 영향을 평가하여 시제품의 농업적 활용방안을 제시하고자 수행하였다. 비닐 하우스에서 상추를 pot재배(시험 I)하였고, 노지 포장에서 배추(시험 II)를 재배하여 2000년부터 2002년까지 3개년에 걸쳐 수행하였다.

가. 농업적 활용방안 평가방법

1) 공시토양

본 시험에 공시된 토양은 춘천시 우두동 278-1번지에 소재한 농가의 토양을 사용하였다. pot 시험에 사용된 토양은 토양 표면의 불순물을 제거한 후 토양을 채취하여 돈분이 처리된 시제품 Perlite와 혼합한 토양을 사용하여 비닐하우스 내에서 상추를 재배하였다. 포장 시험은 <시험 I>의 토양시료 채취 포장을 사용하였으며, 시제품 Perlite를 정식 10일전인 7월 1일에 기비와 토양개량제를 시용한 후 배추 재배 시험을 수행하였다. 공시 토양의 특성은 강서통 세사양토로서 토성은 작물 생육에 양호한 사양토이나 비옥도가 다소 낮은 경향을 보이고 있다. 공시 토양의 화학적 특성은 Table 3-63. 과 같이 pH가 6.2로 약산성이며, T-N은 0.16%, P₂O₅와 OM은 각각 177mg/kg과 2.5%로서 밭토양의 적정수준에 가까우나 그 외의 치환성 양이온 함량은 낮은 수치를 보였다. 공시 토양은 3개년간 같은 토양을 공시하여 연구를 수행하였다.

Table 3-63. Chemical properties of the experimental soil

pH	T-N	P ₂ O ₅	OM	Extractable (cmol(+)/kg)				CEC
(1:5)	%	mg/kg	%	K	Ca	Mg	Na	(cmol(+)/kg)
6.2	0.16	177.0	2.5	0.49	2.95	1.2	0.04	9.94

2) 시제품 Perlite

Table 3-64. Chemical properties of the experimental products which treated piggery manure with Perlite

pH	EC	수분 함량	OM	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	OM/N	
(1:5)	mS/cm	-----				%	-----				ratio
7.48	5.91	30.63	42.77	1.82	0.262	2.084	0.989	0.811	0.395	23.71	
Fe	Cu	Zn	Cd	As	Al	Hg	Pb	Cr			
-----				mg/kg	-----						
1333.3	582	234.0	ND	ND	998.0	ND	ND	ND	ND		

시제품 Perlite의 화학적 특성은 Table 3-64. 와 같이 pH는 7.48로서 중성이며, T-N은 1.82% P₂O₅는 0.262% 그리고 K₂O는 2.804%로 높은 함량을 보였고, 유기물 함량도 42.77%로 높은 경향을 보였다. 그 외의 다른 성분의 함량으로서는 토양개량제 및 부산물 비료로서 활용될 가치가 높은 것으로 판단된다. 또한 이 시제품 중의 중금속 함량은 거의 검출되지 않았다.

3) 공시작물

<시험 I>은 엽상추(*Lactuca Sativa* L. Lettuce)를 공시품종으로 하여 육묘상에서

육묘하여 파종 후 22일 묘를 채취하여 이식하였다. 1/5000a의 Pot에 일정량의 토양과 시제품 Perlite를 잘 혼합하여 충전하였으며, 기비를 평량하여 표토에 뿌린 후 잘 혼합하고 관수 후 묘를 이식하였다. 시험 기간 중 매일 1회씩 동일량의 물을 관수하여 생육에 장애가 발생하지 않도록 주의하였으며 그 외의 관리는 강원도 표준경종법에 준하여 철저히 관리하였다. pot당 시비량은 성분량으로 N-27.6kg/10a, P-15.0kg/10a 및 K-21.0kg/10a에 해당되는 양을 평량하여 각 pot에 사용하였다.

<시험Ⅱ>의 공시작물은 배추(*Brassica Compestris* L. ssp. *Pekinensis* Rupr.)를 공시하였다. 상토를 충전시킨 25공 연결 Pot에 종자를 파종하였으며 파종 후 21일 묘를 본 포장에 정식하였다. 본 포장의 준비는 먼저 작물이 심겨질 줄을 표시한 후 관리기의 로타리로 깊이 파낸 후 각 구별로 구획을 작성하고 그위에 퇴비와 개량제 및 시제품 Perlite를 평량하여 사용한 후 흙을 약간 덮어 복토하고, 그 위에 화학비료 중 기비에 해당되는 양을 평량하여 사용한 후 다시 관리기로 고랑을 깊이 파서 복토하여 배추가 심겨질 두둑을 만들었다. 배추의 재식거리는 휴간 80cm와 주간 40cm로 하여 3,125주/10a로 하였다. 화학비료의 시비량은 성분량으로 10a당 N-32, P-20, K-27kg으로 하고 기비에 해당되는 양을 평량하여 사용하였다. 그 외의 포장관리법과 시비방법 등은 강원도 표준 경종법에 준하여 수행하였다.

4) 시험처리방법

각 시험 I, II의 처리 내용은 Table 3-65. 와 Table 3-66. 와 같이 NPK처리 외 8개 처리로 하였으며 각처리 공히 3반복으로 수행하였다. 시험구 배치는 완전임의 배치법(Complete Randomized- Design)에 의하였다.

Table 3-65. Treatment combinations for Lettuce growth in the greenhouse

Treatment	Remarks
1. Control	○ N : 27.6 P : 15 K : 21kg/10a
2. NPK	
3. NPK + T-Perlite(TP) 10%	○ N : Basal dress - 50%
4. NPK + T-Perlite(TP) 20%	1. Top dress - 16.7%
5. NPK + T-Perlite(TP) 30%	2. Top dress - 16.7%
6. T-Perlite 10%	3. Top dress - 16.7%
7. T-Perlite 20%	
8. T-Perlite 30%	○ P : Basal dress - 100%
	○ K : Basal dress - 57%
9. NPK + OM(1,500kg/10a)	Top dress - 43%

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis.

Table 3-66. Treatment combinations for Chinese cabbage growth in the field experiment

Treatment	Remarks
1. Control	
2. N.P.K	○ N : 36 P : 26 K : 27kg/10a
3. NPK + T-Perlite 10%	○ N : Basal dress - 36%
4. NPK + T-Perlite 20%	1. Top dress - 21.4%
5. NPK + T-Perlite 30%	2. Top dress - 21.4%
6. T-Perlite 10%	3. Top dress - 21.4%
7. T-Perlite 20%	○ P : Basal dress - 100%
8. T-Perlite 30%	○ K : Basal dress - 55%
9. NPK + OM(1,500kg/10a)	Top dress - 45%

나. 농업적 활용방안 평가결과

1) <시험 I> Perlite 시제품이 상추의 생육 및 수량과 토양 비옥도에 미치는 영향
(pot시험)

Table 3-67. Yield parameters of Lettuce as influenced by experiment of product of the Perlite treated with piggery manure

Treatment	상 추 생 중(g/1 plant)				
	1년차('00)	2년차('01)	3년차('02)	평균	동지수
Control	17.1	20.6	14.6	17.4	36.9
NPK	71.5	24.6	45.1	47.1	100
NPK+TP 10%	75.4	37.2	47.9	53.5	113.6
NPK+TP 20%	65.1	39.0	60.5	54.9	116.6
NPK+TP 30%	76.7	51.5	66.8	65.0	138.0
TP 10%	17.2	39.5	43.3	33.3	70.7
TP 20%	30.9	39.1	48.3	39.4	83.6
TP 30%	32.7	31.9	53.3	39.2	83.2
NPK+OM(1500kg/10a)	77.8	33.3	92.1	67.7	143.7

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis.

상추의 수량인 주당 생중량의 3개년 평균치를 보면 Table 3-67. 과 같다. NPK 처리구(47.1g/plant)에 비하여 NPK+OM구가 143.7%로 가장 증수되었으며, NPK+TP 30%구도 138%로 크게 증수되는 결과를 보였다. 또한 Perlite 시용량 간에는 NPK+TP 10%구의 53.5g/plant에 비하여 Perlite의 시용이 증가할수록 상추의 수량이 크게 증가하여 NPK+TP 20%구가 54.9g/plant, NPK+TP 30%구 65.0g/plant였다. 그리고 순

Perlite만 사용한 처리구에서 시용 증가에 따라 증수는 되었으나 NPK 병용구에 비하여서는 크게 감하는 경향을 보였다. 이상의 결과는 연차간에 차이는 있었으나 대체로 같은 결과를 보여 축산폐수처리 Perlite 시제품은 NPK와 함께 사용하므로 상추의 생육 및 수량을 향상시켰으며, 토양의 물리·화학성도 크게 향상 시킨 것으로 사료된다.

2) <시험 II> Perlite 시제품이 배추의 생육 및 수량과 토양 비옥도에 미치는 영향(포장시험)

Table 3-68. Yield parameters of Chinese cabbage as influenced by experiment of product of the Perlite treated with piggery manure.

Treatment	배 추 수 량(kg/10a)				
	1년차('00)	2년차('01)	3년차('02)	평균	동지수
Control	611	728	1,618	985.7	52.6
NPK	729	2,442	2,447	1,872.7	100.0
NPK+TP 10%	1,103	1,296	3,137	1,845.3	98.5
NPK+TP 20%	1,157	1,237	3,490	1,961.4	104.7
NPK+TP 30%	1,526	1,068	3,509	2,034.3	108.6
TP 10%	1,170	1,386	2,419	1,196.5	63.9
TP 20%	1,159	1,064	2,334	1,519.1	81.1
TP 30%	947	719	3,078	1,581.2	84.4
NPK+OM(1500kg/10a)	988	2,834	3,090	2,304.0	123.0

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis.

배추의 수량 상황의 3개년 평균치를 보면 Table 3-68. 과 같이 NPK (1,872.7kg/10a)에 비하여 NPK+OM(1,500kg/10a)구가 123%로 가장 많이 증수되었으

며, NPK+TP 30%도 108.6%의 증수를 보였다. 이 결과는 상추의 pot 시험 결과와도 같은 경향이었으나 그 증수폭은 좁았는데, 포장시험에서는 자연강우에 의존하므로 가끔 가뭄의 피해로 말미암았던 것으로 사료된다. 상추의 결과와 같이 Perlite의 시용량 증가에 따라 증수의 경향을 보였으며, NPK 병용구에서 더욱 크게 그 효과가 나타났다.

다. 적요

2000년부터 2002년까지 3개년에 걸쳐 [돈분처리-Perlite 시제품]에 대한 비효평가를 위하여 상추에 대한 pot 시험과 배추에 대한 포장시험을 수행하여 시제품 처리에 따른 각 작물의 생육상황과 수량 그리고 토양비옥도에 미치는 영향을 평가하였다.

- 1) 시제품 Perlite의 시용으로 엽장·엽폭·엽수등의 생육이 양호하였다.
- 2) Perlite 30% 시용구와 NPK+OM구가 크게 증수되었으며, Perlite 30%까지는 시용량이 증가할수록 증수하는 경향이었으나, NPK 병용구에서 증수효과가 더 컸다.
- 3) 식물체중의 양분흡수량은 OM 시용구나 Perlite 시용구에 높은 분포를 보였다.
- 4) 토양중의 양분함량도 같은 경향을 보여 OM 및 Perlite 30% 시용에서 높았다.
- 5) Perlite 시제품의 시용효과가 크게 인정되나, Perlite의 입도 및 처리방법등에 따라 차이가 많은 것으로 나타나 이에 대한 연구도 함께 수행되어야 할 것으로 생각된다.

제4절 결론

1. Perlite 흡착 및 부유기술개발

가. 축산폐수의 특성조사 및 Perlite 흡착제 검토

- 1) Perlite원석은 화성암의 석영조면암의 일종으로 규산분이 많은 산성의 암석이며 900 - 1,200℃로 급격하게 가열하여 내부 진공상의 다수의 기포를 가진 유리질의 입상체로 제조한 것으로 팽창도는 원석의 10 - 20배로 주성분은 SiO_2 75.5%, Al_2O_3 12.3%, K_2O 5.3%, Na_2O 2.9%로서 비중은 0.13-0.20정도로서 고온산화공정에서 돈분뇨폐수와 Perlite가 반응할 경우 보다 많은 흡착능을 제공할 것으로 판단하였다.
- 2) Perlite는 크기별로 3 종류를 선정하였으며 A 타입은 평균 $4,000\mu\text{m}$, B 타입은 평균 $1,500\mu\text{m}$ 그리고 C 타입은 $73.45\mu\text{m}$ 의 크기를 갖는 것으로 측정되었다.
- 3) Perlite의 기공율은 A 타입은 평균 72.2%, B 타입은 평균 68.3% 그리고 C 타입은 87.9%의 크기를 갖는 것으로 측정되었다.
- 4) Perlite의 비표면적은 A 타입은 평균 $1.5016\text{m}^2/\text{g}$, B 타입은 평균 $1.7266\text{m}^2/\text{g}$ 그리고 C 타입은 $1.7031\text{m}^2/\text{g}$ 의 크기를 갖는 것으로 측정되었다.

나. 부유·흡착시스템 설계를 위한 시뮬레이션 실시

- 1) 운전압력 및 운전온도가 높을수록 유동속도가 증가하여 Ejector의 혼합율이 증가하여 고온산화장치의 처리율이 향상될 것으로 예상한다.
- 2) Perlite ejector는 Perlite와 돈분뇨폐수의 혼합을 목적으로 적용하였고 Oxidation Ejector는 Single Type보다 Multi Type이 더 효과적인 것으로 판단되었다.

2. 돈분뇨폐수 처리시스템 구축 및 처리시스템의 최적화

가. 돈분뇨폐수 처리시스템 구축

- 1) 주요공정으로 집수조에 유입된 돈분뇨원폐수는 Perlite와 혼합된 후 고온산화반응조에서 고온의 가스에 의한 고온산화반응과 perlite에 의한 흡착반응이 일어나고, DSM탈수기등의 탈수시스템에서 탈수후에 Perlite 여과조 및 A/C 여과조를 통과하게 되며 최종 처리수의 수질에 따라서 계면활성제 처리 및 중간단계의 각 단위공정을 가감할 수 있다.
- 2) Ejector System은 Perlite와 돈분뇨폐수를 혼합하기 위한 Perlite Ejector와 고온산화반응을 위한 산화 Ejector System으로 구성하였다.
- 3) Burning System은 축산폐수 처리시 온도에 따른 부유·흡착 특성을 검토하여 일정규모의 축산폐수를 적정하게 안정된 처리를 하기 위하여 필요한 단위공정
- 4) Condenser(Heat Exchange) System은 축산폐수 처리시 일정한 온도로 반응기 내부조건을 유지시킴으로서 일정규모의 축산폐수를 적정하게 안정된 처리를 하기 위하여 필요한 단위공정이다.
- 5) 탈수시스템은 혼합상태로 반응한 돈분뇨 및 오·폐수를 MAIN SCREEN에 투사함으로서 SCREEN의 MESH에 맞는 크기 및 액만 투과시키고 나머지는 폐기 또는 재 순환할 목적으로 사용하였다.

나. 시스템의 운전결과

- 1) BOD 부하는 최적 운전 조건에서 고온산화반응조에서 Single Ejector Type 52%, Multi Ejector Type 95% 저감 가능할 것으로 평가되었다.
- 2) COD 부하는 최적 운전 조건에서 고온산화반응조에서 Single Ejector Type 50%, Multi Ejector Type 95% 저감 가능할 것으로 평가되었다.
- 3) T-N 부하는 최적 운전 조건에서 고온산화반응조에서 Single Ejector Type 33%, Multi Ejector Type 90% 저감 가능할 것으로 평가되었다.

3. Perlite 부산물의 비료화 방안

- 가. Perlite를 흡착제로 사용함으로써 perlite 자체의 토양 개량 능력과 함께 흡착된 유기화합물 및 질소, 인화합물을 영양원으로 활용이 가능하여 유기질 비료로서의 활용성이 매우 클 것으로 예상한다.

나. 2000년부터 2002년까지 3개년에 걸쳐 [돈분처리-Perlite 시제품]에 대한 비효평가를 위하여 상추에 대한 pot 시험과 배추에 대한 포장시험을 수행하여 시제품 처리에 따른 각 작물의 생육상황과 수량 그리고 토양비옥도에 미치는 영향을 평가하였다.

- 1) 시제품 Perlite의 시용으로 엽장·엽폭·엽수등의 생육이 양호하였다.
 - 2) Perlite 30% 시용구와 NPK+OM구가 크게 증수되었으며, Perlite 30%까지는 시용량이 증가할수록 증수하는 경향이었으나, NPK 병용구에서 증수효과가 더 컸다.
 - 3) 식물체중의 양분흡수량은 OM 시용구나 Perlite 시용구에 높은 분포를 보였다.
 - 4) 토양중의 양분함량도 같은 경향을 보여 OM 및 Perlite 30% 시용에서 높았다.
 - 5) Perlite 시제품의 시용효과가 크게 인정되나, Perlite의 입도 및 처리방법등에 따라 차이가 많은 것으로 나타나 이에 대한 연구도 함께 수행되어야 할 것으로 생각된다.
4. 원수의 유입 농도 범위에 관계없이 안정된 처리가 가능하고 원폐수를 희석없이 직접 처리할 수 있는 효율적인 폐수처리공정이다.
5. 본 시스템의 투자비용은 기존 공공축산폐수처리시설의 50% 수준으로 1년간 운전시 28,100,000원/년 운영 수익발생을 예상한다.
6. 소요 시설부지가 비교적 적고 운전이 용이하여 기존 처리시설에 비하여 경제적이므로 축산농가의 경쟁력 강화에 기여할 것으로 예상한다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연도별 연구목표 및 목표달성도

본 연구의 연구개발 목표는 강제부유방식과 perlite를 미디어로 활용하여 중소규모 축산농가에서 발생하는 원액을 별도의 전처리나 회석없이 처리하여 BOD 및 총질소를 95% 이상 제거하며 부산물로 얻어진 perlite 유기물질 복합체는 비료화하는 것으로서 연구평가의 착안점을 Table 4-1.에 나타내었다.

Table 4-1. 연구평가의 착안점

구분	평가의 착안점 및 척도	
	착안사항	척도(점수)
1차년도 (1999)	-부유장치 설계·제작 및 성능 (Lab 규모 1톤/hr) -부유제선정 및 흡착메커니즘 -perlite 화합물 비료화 연구	-제작규모 및 처리효율(40) -부유제의 물리화학적 특성과 흡착율(30) -흡착물분석 및 탈착 및 비료화 이용율(30)
2차년도 (2000)	-연속처리시스템설계 -계면활성제에 의한 흡착율 향상 -부산물 비료화	-처리능력 및 BOD, T-N, T-P제거율 (40) -흡착율 및 BOD 제거율(30) -POT Test 및 field 적용을 위한 시비량 검토(30)
3차년도 (2001)	-최적화 -경제성 분석	-운전비용등 경제성 분석(30) -처리효율(30) -부산물 및 비료생산성(30) -운전의 편의성 및 운전조건(10)
최종평가	-축산폐수 처리효율 -경제성	-운전비용등 경제성(30) -처리효율(40) -부산물 및 비료생산성(30)

* 척도(점수)의 합계는 각 연도 100임

이를 근거로 하여 연차별로 연구개발한 내용을 다음에서 검토하였다.

1. 1차 연도

가. 연구개발목표

- Perlite 흡착 및 부유기술개발

나. 연구개발내용

- (1) 부유·흡착 기술과 고온산화공정에 대한 기초연구 실시
- (2) 축산폐수의 특성조사 및 계절별 축산폐수 분석
- (3) 주요단위공정연구
 - 부유·흡착시스템 설계를 위한 시뮬레이션 실시
 - 부유제선정 및 활용연구
- (4) Perlite 화합물 비료화연구
 - 문헌조사 및 기초실험을 통한 perlite 유기복합체의 비료화 가능성 조사
 - 각종 처리조건을 검토하여 유기질 비료로의 활용을 위한 연구실시

2. 2차 연도

가. 연구개발목표

- 축산폐수 처리시스템 구축

나. 연구개발내용

- (1) 축산폐수 처리시스템 구축
 - 25톤/일 처리규모의 연속처리 시스템 설계

- 고온산화장치의 현장설치
- (2) 운전조건 검토
 - 장치의 운전 최적화를 위한 조건 검토
 - perlite 유기물복합체의 회수·분리조건 검토
 - 운전효율 향상을 위한 계면활성제 검토
- (3) 비료활용을 위한 perlite 유기복합체의 POT 및 Field Test

3. 3차 연도

가. 연구개발목표

- 처리시스템의 최적화

나. 연구개발내용

- (1) 운전조건외 최적화
 - 유입원수의 특성에 따른 운전효율 검토
 - 오염물의 제거조건 및 효율향상 방안 검토
 - Ejector System 적용시 운전 장애요소를 최소화하고 운전효율 제고방안 검토
- (2) Perlite의 흡착능력 제고
 - Perlite 주입에 따른 흡착특성 검토
- (3) 최종방류농도의 적정화 방안 검토
- (4) Perlite 유기화합물 비료화
 - 운전조건에 따른 비료화 효율 검토
 - 연작시험 및 대상작물 검토
 - Perlite 부산물 비료를 작물의 성장을 위하여 시비할 경우 토양 성상의 변화를 검토

Table 4-2. 연구목표대비 달성도

구분	작업사항	목표달성도
1차년도 (1999)	<ul style="list-style-type: none"> -부유장치 설계·제작 및 성능 (Lab 규모 1톤/hr) -부유제선정 및 흡착메커니즘 -perlite 화합물 비료화 연구 	<ul style="list-style-type: none"> - 부유·흡착 기술과 고온산화공정에 대한 기초연구 실시 - 축산폐수의 특성조사 및 계절별 축산폐수 분석 - 주요단위공정연구 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 부유·흡착시스템 설계를 위한 시물레이션 실시 ▪ 부유제선정 및 활용연구 - Perlite 화합물 비료화연구
2차년도 (2000)	<ul style="list-style-type: none"> -연속처리시스템설계 -계면활성제에 의한 흡착율 향상 -부산물 비료화 	<ul style="list-style-type: none"> - 축산폐수 처리시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 25톤/일 처리규모의 연속처리 시스템 설계 ▪ 고온산화장치의 현장설치 - 운전조건 검토 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 장치의 운전최적화 조건 검토 ▪ perlite 유기물복합체의 회수·분리 조건 검토 ▪ 운전효율 향상을 위한 계면활성제 검토 - 비료활용을 위한 perlite 유기복합체의 POT 및 Field Test
3차년도 (2001)	<ul style="list-style-type: none"> -최적화 -경제성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 운전조건 최적화 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 유입원수의 특성에 따른 운전효율 검토 ▪ 오염물의 제거조건 및 효율향상 방안 검토 ▪ Ejector System 적용시 운전장애요소 최소화 및 효율 제고방안 검토 - Perlite의 흡착능력 제고 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Perlite 주입에 따른 흡착특성 검토 - 최종방류농도의 적정화 방안 검토 - Perlite 유기화합물 비료화 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 운전조건에 따른 비료화 효율 검토 ▪ 연작시험 및 대상작물 검토 ▪ Perlite 부산물 비료를 작물의 성장을 위하여 시비할 경우 토양 성상의 변화를 검토

제2절 관련분야의 기술발전예의 기여도

1. 관련분야의 기술발전예의 기여도

- 가. 기존의 공공처리시설, 자원화시설, 정화시설에서 이제까지 개발된 많은 처리공법이 적용되고 있으나 본 연구에서 개발한 부유·흡착공법은 돈분뇨폐수 처리를 위해 신개념으로 접근한 것이기에 축산폐수처리시설 표준화 관련기술로 보급될수 있도록 추가적인 기술개발을 실시할 예정이다.
- 나. 본과제에 적용하고자하는 핵심기술은 Ejector에 의한 강제부유방식과 perlite를 미디어로 사용한 흡착이 주요 기술로 Ejector 관련 핵심기술을 보유한 (주)한중기계산업에서 본 연구를 통하여 돈분뇨폐수처리관련 주요기술도 확보하게 되었다.
- 다. 축산분뇨처리시설 설치대상농가에 효율적인 처리를 위한 축산폐수처리공법의 새로운 대안을 제시할 수 있었다.
- 라. 부유·흡착공법을 적용한 폐수처리과정에서 생산되는 perlite 부산물은 양질의 비료원료로서 화학비료를 대체하여 유기농법에 의한 농산물 생산으로 농가의 농업경쟁력을 강화할 수 있을 것으로 예상된다.

2. 논문발표 현황

가. 대한환경공학회 춘계학술대회 논문발표

논제 : 부유흡착에 의한 축산폐수 처리에 관한 연구

(장소 : 이화여자대학교, 일시 : 2001. 5. 11. - 12.)

나. 대한환경공학회 추계학술대회 논문발표

논제 : 축산폐수의 고효율처리를 위한 부유·흡착시스템의 유한요소해석법적용에 관한 연구

(장소 : 포항공과대학교, 일시 : 2001. 11. 2. - 3.)

다. 대한환경공학회 추계학술대회 논문발표

논제 : 축산폐수의 고효율 처리를 위한 펄라이트 흡착반응에 관한 연구

(장소 : 여수대학교, 일시 : 2002.)

라. 2002년 한국토양비료학회 추계학술대회

논제 : 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 배추에 대한 시용효과

논제 : 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 상추에 대한 시용효과

(장소 : 전남대학교, 일시 : 2002. 10. 31. - 11. 1.)

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

제1절 활용방안

1. 기대효과

가. 기술적 측면

- 1) 현재 축산폐수처리 관련 많은 연구가 수행되었고 또한 진행중이지만 실제에서는 유입수의 농도를 일정하게 유지하기가 곤란하므로 정상적인 처리가 불가능한 실정임
- 2) 본 연구대상 공정의 경우 유입 BOD 농도 범위에 관계없이 안정된 처리가 가능하고 원폐수를 회석없이 직접 처리할 수 있음
- 3) perlite를 흡착제로 사용함으로써 perlite 자체의 토양 개량 능력 이외에 흡착된 유기화합물 및 질소, 인화합물을 영양원으로 활용이 가능하여 유기질 비료로서의 활용성이 매우 큼

나. 경제 · 산업적 측면

- 1) 효율적인 폐수처리 기술 및 설비의 보급으로 축산폐수관련 환경규제기준 달성이 가능하기에 축산농가 및 축산법인의 환경문제해결
- 2) 소요 시설부지가 비교적 적고 운전이 용이하므로 기존 처리시설에 비하여 경제적임
- 3) 축산폐수의 적정처리를 통한 자연환경보존 및 축산농가의 경쟁력 강화
- 4) 생산되는 부산물은 양질의 비료원료로서 화학비료를 대체하여 유기농법에 의한 농산물 생산으로 농업경쟁력을 강화할 수 있음.

2. 경제성평가

경제성 평가는 돼지 5,000두를 사육하는 처리시설에서 발생하는 돈분뇨폐수를 처리하는 경우를 예상하여 검토하였다. 다음에 5,000두 처리시설의 경제성(예상)을 기존 축산폐수 공공처리시설인 전라북도의 I 처리장과 비교하여 나타내었다.

가. 기존시설(전북 I 처리장)

1) 시설 투자비용

- 시설규모 : 3,100 m³/d (2001년 기준)
- 시설비 : 8,400,000,000 원
 - 국비 : 6,364,000,000 원
 - 지방비 : 2,036,000,000 원
- 2002 투자계획 : 9,069,000,000 원 (시설보강용)

2) 운전비

- 운영요원 : 총 14명
- 운영관리비
 - 인건비 : 310,000,000 원/년
 - 연료비 : 3,000,000 원/년
 - 전력비 : 117,000,000 원/년
 - 약품비 : 169,000,000 원/년
 - 시설보수비 : 30,000,000 원/년
 - 기타 : 348,000,000 원/년
- 1년 운전비 : 977,000,000 원/년

3) 기타사항

- 처리공법 : 생물학적처리공법

- 고농도 원수의 경우 실질적인 처리량 증가로 인한 운전비의 상승 예상
- 슬러지 발생량 : 7,252 톤/년
- 체류시간 : 약 10 일

나. 본 연구 개발시설(전북 왕궁면 설치 - 예상)

1) 시설 투자비용

- 시설규모 : 50 m³/d (2001년 기준)
 - 시설비 : 약 150,000,000 원(3100 m³/d 기준 : 약 9,000,000,000 원 예상)
- ※ 본 시설은 화공플랜트이기에 실제 대용량 처리시설 시공시 비용은 대폭 절감가능 할 것으로 예상함.

2) 운전비

- 운영요원 : 총 2명
 - 운영관리비
- 인건비 : 2인 * 50,000 원/일 * 365 일/년 = 36,500,000 원/년
- 연료비(LPG) : 150 kg/일 * 500 원/kg * 365 일/년 = 27,375,000 원/년
(근거 : 물가자료(2002년 7월호 참조))
- 전력비 : 40 Kw/일 * 365 일/년 → 1,103,140 원/년
(근거 : 한국전력 전기요금단가 산업용 전력(갑) 저압전력에 의거 1년치 계산)
- 약품비 : 912,500 원/년
- Perlite(흡착제)비 : 4,000 L/일 * 50원/L * 365 일/년 = 73,000,000 원/년
(근거 : 물가자료(2002년 7월호 참조))
- 시설보수비 : 3,000,000 원/년
- 기타 : 10,000,000 원/년
- 1년 운전비 : 151,890,640 원/년

3) 기타사항

- 처리공법 : 물리화학적처리공법
 - 고농도 원수의 경우 희석없이 처리 가능함
 - 슬러지 발생량 : 1,200 톤/년(Perlite 부산물 포함)
 - 체류시간 : 약 10 Hr
 - 회수금액
- 유기질비료 판매금액 : 20kg(포)에 3,000원 예상시
 3,000 원/20kg * 1,200톤/년 = 180.000.000 원
- 1년간 운전시 손익 : 28,100,000 원/년 운영 수익발생을 예상함

Table 5-1. 경제성 검토(예상)

구분	본연구	기존시설(전북 I 처리장)
시설규모	50m ³ /일	3,100m ³ /일
투자비용(시설비)	약 150,000,000 원 (3100m ³ /d 기준 : 약 9,000,000,000 원 예상)	8,400,000,000 원 (2002투자계획 : 9,069,000,000원 (시설보강용))
투자비용총계	약 9,000,000,000 원 예상	17,469,000,000 원
인건비	36,500,000 원/년	310,000,000 원/년
연료비	27,375,000 원/년	3,000,000 원/년
전력비	1,103,140 원/년	117,000,000 원/년
약품비		169,000,000 원/년
Perlite(흡착제)비	73,000,000 원/년	-
시설보수비	3,000,000 원/년	30,000,000 원/년
기타	10,000,000 원/년	348,000,000 원/년
1년간 운전비소계	151,890,640 원/년	977,000,000 원/년
회수금액	180.000.000 원/년	-
비고	<ul style="list-style-type: none"> • 투자비용은 50% 수준예상 • 1년간 운전시 28,100,000원/년 운영 수익발생을 예상함 	<ul style="list-style-type: none"> • 고농도 원폐수처리는 처리율이 낮으므로 적정농도로 희석하여 처리할 필요성이 있음

제2절 향후 추진계획

1. 운전효율을 향상시킬 방안으로 산화용 Ejector를 선정하되 노즐부분의 폐색을 예방하고 처리량을 늘리기 위하여 전처리용 세목스크린을 보강하고 산화용 Ejector를 여러개 병렬로 설치하도록 시스템을 개선하는 것을 검토해 볼 수 있다. 또한 질소 제거율 향상을 위하여 기초실험에서 확인한 여러방안을 적용하기 위한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단한다.
2. 본 연구의 축산폐수처리시스템은 최초에는 처리수를 방류할 목적으로 개발하였는데 해당지역의 축산폐수공공처리장으로 유입되도록 관로가 형성된 지역에서는 본 연구에서의 운전효율 정도로 만족하고 지역 축산폐수공공처리장으로 이송함으로써 자가 축산폐수배출시설 설치기준 달성, Perlite 부산물의 생산으로 인한 경제적 효과, 고농도 축산폐수 원수의 농도부하를 대폭 저감함으로써 축산폐수공공처리장의 안정적인 운전효율을 달성할 수 있을 것으로 예상한다.
3. Perlite 부산물의 비료화 방안에서 Perlite 시제품의 시용효과가 크게 인정되나, Perlite의 입도 및 처리방법등에 따라 효능에 차이가 나므로 이를 고려한 추가적인 연구가 필요할 것으로 예상한다. 또한 생산되는 Perlite 부산물은 양질의 비료원료로서 화학비료를 대체하여 유기농법에 의한 농산물 생산으로 농업경쟁력을 강화할 것으로 예상한다.
4. 우리나라의 경우 2001년 현재 전국에서 952만두의 돼지가 사육되고 있으며 허가 대상 4,969호, 신고대상 8,499호이므로 이를 고려할 경우 약 1,000개소 이상의 설치가 가능하여 1,500억원 정도의 시장규모를 이룰것으로 예상한다.
5. 기술개발 사업간 확보한 성과물을 축산관련 유관기관 및 양돈농가에 이전·확산함으로써 참여기업이 받은 수혜를 공유하고 정부의 축산농가 생산성을 장려하는 정책에 적극 동참할 예정이다.

제 6 장 참고문헌

1. 이택식, 이재현, 이준식 공역, Introduction to heat transfer, 회중당, (1990).
2. 남대기, 계면활성제(1) 기초적물성, 수서원, (1991)
3. 최영길외 역, 담수의 부영양화, 신광문화사, (1995).
4. 이상용, 액체의 미립화, 대우학술총서 자연과학, (1996).
5. 김오식외, 폐수처리플랜트의 유지관리, 동화기술, (1998).
6. 가스연소기기편람, 한국가스석유기기협회, (1998).
7. 백원필, 이경진, 이재영, 장근석 공역, 이상유동과 열전달, 청문각, (1997).
8. 김우식, 박동화, 박정극, 배효광, 양재호, 이은규, 임교빈 공역, 열전달과 응용, 동명사, (1999).
9. 박영태역, 활성탄-기초와 응용, 동화기술, (2001).
10. 김석권편역, 열교환기 설계와 열적 계산법, 신기술, (2001).
11. Granville H. Sewell, Introduction to environmental microbiology, Pentice-Hall, (1974).
12. Anthony F. Gaudy, Jr., Elizabeth T. Goudy, Microbiology for environmental science and engineers, Mcgraw-Hill, (1980)
13. J. N. Reddy, D. K. Gartling, The finite element method in heat transfer and fluid dynamics, CRC Press, (1994)
14. Werner Stumm, Aquatic Chemistry 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc, (1996).
15. Tom D. Reynolds, Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, ITP, (1996).
16. Dergemont, Water treatment handbook, 5th Ed., France, (1979).
17. AWWA, Water quality and treatment - A Handbook of community water supplies, 4th Ed., (1990).
18. APHA, AWWA, and WEF, Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th Ed., Washington, D. C., (1995).
19. 월간 물가자료, 한국물가협회, (2002).
20. 환경관계법규, 환경부, (2000).

21. '99 경기환경백서, 경기도, (1999).
22. 화학연감 2000, 화학경제연구원, (1999).
23. 화학생산제품총람, 내외정보센터, (1999).
24. 환경통계연감, 환경부, (1999).
25. 환경부, '96 공장폐수의 발생과 처리, (1996).
26. 환경부, '96 지정폐기물 발생 및 처리현황, (1997).
27. 전국 축산분뇨 적정관리대책연구, 한국환경과학연구협회, (1990).
28. 축산폐기물 및 분뇨의 안정화처리와 재이용기술 적용에 관한 연구, 한국과학기술원, 과학기술처, (1991).
29. 축산폐수폐기물의 물리화학적 처리에 관한 연구, 한국환경과학연구협회의, (1991).
30. 오폐수처리신공법연구(Ⅲ), 국립환경연구원, (1995).
31. 오폐수처리신공법연구(Ⅳ), 국립환경연구원, (1994).
32. 오폐수처리신공법연구(Ⅴ), 국립환경연구원, (1995).
33. 가축배설물 처리 및 이용에 관한 연구, 농촌경제연구원, (1992).
34. 중소규모 축산폐수의 효율적 처리방안 개발에 관한 연구, 한국과학재단, (1992).
35. 축산분뇨처리총람, 한국농어민신문, (1995).
36. 축산폐기물로부터 시설재배용 유기질비료의 생산을 위한 미생물제제 및 퇴비제조 기술의 개발, 농림부, (1997).
37. 축산분뇨의 환경오염개선을 위한 효소제의 개발과 응용, 농림부, (1998).
38. 석탄회의 축산분뇨처리 부자재 대체 이용에 관한 연구, 농림부, (1998).
39. 전천후 고도 축산폐수 처리방법과 그 부산물의 고부가가치 천연무균액비 개발 및 산업화, 농림부, (1998).
40. 오·폐수 처리기술-소규모 오·폐수 처리 package화 기술, 환경부, (1999).
41. 축산폐수관리의 효율성 및 경제성 향상방안 연구, 환경관리공단, (1999).
42. 최정, 서영진, 이동훈, 축산폐수 처리시 전기전도도를 기준한 천연 Zeolite의 교환 시기 결정, 한토비지, Vol. 29(2), (1996).
43. 조동진. 상추 시비적량시험. 경남농진원, 시험연구보고서. 433 ~ 437, (1978).
44. 임선옥, 유진창, 홍종운. 유기질 비료의 시용이 배추와 무의 생육과 수량 및 토양의 이화학성에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 12권 3호. 125 ~ 132, (1979).
45. 이상은, 박양호, 윤정희. 엽채류에 대한 적정염기비 조정에 관한 시험. 농진청 농

- 기연 시험연구보고서(화학부). 329 ~ 335, (1985).
46. 임재하, 이우승. 결구 상추 주년 재배시험. 경북 농진원 시험연구보고서. 272 ~ 280, (1986).
 47. 윤정희, 허범량, 황기성. 채소 연작지 토양에서 인산 시용 시험. 농진청 농기연 시험연구보고서(화학부). 255 ~ 263, (1980).
 48. 김정제, 조병옥, 이상규. 유기질비료 시용이 상추와 쫓갓의 생육 및 수량에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 20권 2호. 169 ~ 177, (1987).
 49. 농업기술연구소. 토양 및 식물체 분석법, (1973).
 50. 임선옥. 토양학통론. 문운당. 187 ~ 221, (1994).
 51. PPI. Soil fertility manual. 4-1 ~ 4-13, (1992).
 52. Miller, R.W. and Donahue. Soils; An introduction to soils and plant growth. Rrentic-Hall. 54 ~ 106, (1990).
 53. Bohn, H.L., McNeal and G.A. O'connor. Soil chemistry. John Wiley and Sons. 185 ~ 192, (1979).
 54. Yang, J.E., E.O Skogley, S.J. Georgitis, B.E. Schaff and A.H. Ferguson. Phytoavailability soil test; Development and verification of thery. Soil Sci. Am. J. 55: 1358 ~1368, (1991).

부 록

1. 초록 : 부유흡착에 의한 축산폐수처리에 관한 연구

부유흡착에 의한 축산폐수처리에 관한 연구
A study on the livestock wastewater treatment
by floating adsorption

전용보 · 이법중* · 배우근** · 신명교
한국생산기술연구원, *한중기계산업, **한양대학교

1. 서론

'98년말 기준으로 우리나라에서 하루에 발생하는 축산폐수량은 약 19만톤으로서 전체 폐하수발생량의 1.0%에 불과하지만 BOD 부하량은 전체부하량의 15%인 985톤/일로서 특히 축산폐수의 경우 BOD 농도와 질소농도가 상대적으로 매우 높아 호소부영양화의 주원인이 되고 있다. 축산 분뇨는 발생량의 대부분을 자원화 및 정화방법으로 처리하지만(약 92%) 일부는 해양배출이나 유출되는 것으로 추정된다. 고농도 유기성물질을 다량 포함하고 있는 축산폐수처리를 위하여 지금까지 혐기성처리법 및 호기성처리법이 주로 적용되어왔으나 그다지 만족스러운 결과를 얻고 있지는 못하며 최근 들어 새로운 공법의 적용이 시도되고 있는 실정이다. 축산폐수의 처리는 현재 화학적, 생물학적 처리방법을 적용하여 BOD 5,000ppm 내외를 대상으로 처리하고 있으나 농도가 고농도이며 농도변화가 심하여 처리하기가 어려운데 화학적처리의 경우 화학약품 사용량이 많으며 생물학적처리의 경우 축산폐수의 특성이 과산소량을 요하며 특히 농도부하의 민감도가 높아 5,000ppm 정도로 순응처리를 하고 있으나 농도부하가 저농도이거나 고농도인 원폐수가 직접 유입될 경우 미생물 활성이 떨어져 사실상 처리가 어려운 실정이다. 아울러 총질소와 인의 경우 BOD 원인물질 제거시 동시처리가 되지 않아 2차 또는 후처리 개념으로 생물학적 처리가 추가로 소요되어 실제적으로 과다한 투자 및 운전조건을 요구하므로 축산폐수의 처리를 어렵게하고 있다. 축산폐수 처리를 위하여 이외에 액비화, 톱밥사료화, 토양침투등의 방법을 적용하고 있으나 전체 축

산폐수의 처리에는 역부족이며 또한 토양오염, 수질오염 등 2차 오염이 우려되고 수분 조절을 위한 톱밥, 왕겨 등의 수분 조절제가 다량 요구되어 비용상승이 우려된다.

본 연구의 부유흡착법은 원폐수를 회석하지 않고 직접 처리함으로서 BOD 원인물질 및 총질소 등의 동시제거가 가능하다. 또한 부산물로서 생성되는 화합물을 비료화함으로서 자원재활용이 가능할 것이다. 현재 Perlite는 단독으로 토양개량제로서 사용되고 있으나 본 연구의 부유흡착공정을 거쳐 고농도 유기성물질 및 질소 성분 등을 흡착할 경우 더욱 우수한 비료로서의 역할을 할 것으로 전망된다.

2. 실험재료 및 실험방법

실험에 사용한 축산폐수는 전북 익산군 왕궁면에 위치한 돼지 1,000두를 사육하는 양돈농가의 돈분뇨를 이용하였다. 시료는 채취 당일 분석을 하는 것을 원칙으로 하고 4℃ 이하의 냉장고에 보관하는 한편 분석간 시료중의 침전물로 인한 오차를 줄이기 위하여 시료를 수차례 교반후 사용하였다.

부유흡착반응을 촉진하기 위해서는 반응조건과 함께 부유제의 선정이 특히 중요하며 실험에 사용한 Perlite는 미성산업에서 생산한 제품을 각각 사용하였다. Perlite의 원석은 화성암의 석영조면암의 일종이며 규산분이 많은 산성의 암석에 속하며 천연에서 산출되는 일종의 유리이다. Perlite는 원석을 분쇄하여 900 ~ 1,200℃로 급격하게 가열하면 원석에 함유되어 있는 수분이나 휘발성 성분이 폭발적으로 逸散을 일으키기 때문에 내부 진공상의 다수의 기포를 가진 유리질의 입상체가 된다. 이때 팽창도는 원석에 따라서 다르지만 원석의 10 ~ 20배 정도이다. Perlite의 주성분은 SiO₂로서 75.5%를 차지하고 있으며 Al₂O₃, K₂O, Na₂O의 순으로 구성되어 있다.

실험에 사용된 시료는 돈분과 뇨가 혼재된 폐수를 대상으로 분석하였는데 축산폐수의 물리·화학적 특성은 저장기간, 분뇨수거방식, 관리상태에 따라서 많은 차이가 있으므로 pilot plant의 운전조건이 달라질 경우 원수시료에 대한 분석을 실시할 필요가 있다. 분석은 원수를 침전시켜 비교적 큰 입자상 물질을 침전시킨 상등액과 완전 혼합한 혼합액을 대상으로 하였고 축산폐수처리시설의 방류수 수질기준 항목인 BOD₅, SS, T-N, T-P를 분석하였다. 분석결과를 보면 원시료의 pH는 8.5정도로서 약 알칼리성이었고 BOD₅는 19,300mg/L ~ 20,400mg/L로서 기존 연구에서 제시하고 있는 돈분 59,900mg/L과 돈뇨 4,000mg/L의 중간범위이었는데 이는 본실험에서는 사용한 시료가 돈분· 뇨가 혼합되어 있기때문이며 이를 고려할 경우 기존 연구에서의 농

도와 유사한 범위라고 판단된다. COD_{Cr} 은 20,000mg/L ~ 21,300mg/L이었는데 대부분의 COD 유발물질이 생분해 가능한 물질인 관계로 BOD 농도와 거의 유사한 결과를 나타내었다.

흡착은 중요한 정화 및 분리공정으로서 폐수중의 유기성물질과 색도의 제거 및 대기중의 악취의 제거등에 널리 적용되는 단위공정으로서 폐수중의 유기성화합물, 생물학적 물질 및 귀금속의 회수등에도 적용가능하다. 경제적인 흡착공정의 적용을 위해서는 폐수조건에 맞는 흡착제 및 반응조건의 선정이 필요하며 효과적인 흡착을 위해서는 높은 선택성 및 긴수명을 갖는 흡착제의 선정이 중요하며 여기서는 perlite를 적용하여 시험하였다. 돈분뇨폐수를 열처리할 경우 유기성 colloid 물질이 많으므로 시료의 성상에 따라 다르지만 대략 압력 250~400psi, 온도 150~200℃, 반응시간 30~60분이 적당하다. 열을 가하는 동안 colloidal gel이 파괴되고 친수성 입자가 감소하며 입자의 비중이 더 크게 될 수 있는데 따라서 어떤 형태의 부유물질은 용해되며 다른 형태의 물질들은 용액내에서 침전하기도 한다. 열처리하는 탈수성을 향상시키고 병원균을 사멸시키는 장점이 있다.

시험은 본 연구에서 제작한 pilot plant의 Ejector 시스템이 장착된 가압부상반응조에서 실시하였다. 유입된 원폐수는 전처리로서 체거름을 하게되며 가압부상조에서는 Ejector 시스템과 Burning 시스템에 의하여 가압 및 가온 분위기가 유지되어 Perlite와 돈분·뇨폐수의 흡착반응이 이루어진다. Ejector 시스템은 Perlite와 시료를 혼합하여 흡착반응이 이루어지도록 하고 Condenser 시스템은 반응공정이 일정한 온도조건을 유지하도록 하며 Burning 시스템은 공정의 핵심 단위 시설로서 급속산화, 열분해 탈취등이 가능하도록 하는 기능을 갖는다. 가압부상조는 가압 및 가온 분위기속에서 흡착 반응이 진행되며 BOD 유발 유기성물질 및 질소성분등이 제거된다.

3. 참고문헌

- 1) 축산폐수관리의 효율성 및 경제성 향상방안 연구, 환경관리공단, (1999).
- 2) 석탄회의 축산분뇨처리 부자재 대체 이용에 관한 연구, 농림부, (1998).
- 3) 축산분뇨처리총람, 한국농어민신문, (1995).
- 4) 우사폐수중 암모니아성질소 제거를 위한 zeolite column의 적정조건, 이동훈, 최정, 경북대학교, Korean J. Environ. Agric, Vol. 15, No. 2, (1996. 6).
- 5) 축산폐수폐기물의 물리화학적 처리에 관한 연구, 한국환경과학연구협의회, (1991).

2. 초록 : 축산폐수의 고효율 처리를 위한 부유흡착시스템의 유한요소해석법적용에 관한 연구

축산폐수의 고효율 처리를 위한 부유흡착시스템의
유한요소해석법적용에 관한 연구

A study of high efficiency treatment for the livestock wastewater on
Floating adsorption system
using finite element analysis

전용보 · 이법중* · 배우근** · 신명교
한국생산기술연구원, *한중기계산업, **한양대학교

1. 서론

'99년말 기준으로 우리나라에서 하루에 발생하는 축산폐수량은 약 13만톤으로서 전체 폐하수발생량의 1.0%에 불과하지만 BOD 부하량은 전체부하량의 15% 정도로서 축산폐수의 경우 고농도의 부유성 용존성물질과 질소농도가 상대적으로 매우 높아 호소부영양화의 주원인이 되며 쾌적한 생활환경을 해치는 요인이 되고 있다. 축산 분뇨는 발생량의 대부분을 자원화 및 정화방법으로 처리하는데(약 92%) 고농도 유기성물질을 다량 포함하고 있는 축산폐수처리를 위하여 지금까지 혐기성처리법 및 호기성처리법이 주로 적용되어왔으나 그다지 만족스러운 결과를 얻고 있지는 못하며 최근들어 새로운 공법의 적용이 시도되고 있는 실정이다.

본 연구의 부유흡착법은 원폐수를 회석하지 않고 직접 처리함으로서 BOD 원인물질 및 총질소등을 동시제거하고 또한 부산물로서 생성되는 화합물을 비료화합물로서 자원재활용함을 목적으로 하고 있다. 본 연구에서 제작한 pilot plant의 Ejector 시스템이 장착된 가압부상반응조에서는 Ejector 시스템과 Burning 시스템에 의하여 가압 및 가온 분위기가 유지되어 Perlite와 돈분·뇨폐수의 흡착 및 산화반응이 이루어지는데 이러한 메커니즘을 규명하기 위해서는 수치적으로 Ejector 시스템과 Burning 시스템 내의 유동현상을 해석해볼 필요가 있다.

이 연구에 적용하는 유한요소법은 공학분야에서 제기되는 복잡한 물리적인 특성을

갖는 연속적인 현상을 수치적으로 풀기 위한 기법의 하나이다. 지금까지의 유한요소 해석은 구조해석분야와 전기 또는 자기포텐셜의 분포, 열전달, 유체유동문제에 적용해 왔으나 폐수처리분야에서는 수치적으로 처리과정엔 적용된 예가 없다. 그래서 이 논문에서는 부유흡착공정이 진행되는 부유흡착반응시스템을 구성하고 있는 Ejector시스템, Burning시스템, 부유흡착반응조에서 유한요소법을 적용하여 돈분뇨의 유동특성을 분석한다.

2. 실험재료 및 실험방법

유체의 선형운동에 적용되는 베르누이방정식을 이용하여 벤츄리관, Ejector의 유체 유동현상을 수치해석적으로 접근해보면 벤츄리관이나 Ejector에서 검사역은 유선에 의하여 경계를 이루고 있으므로 유체가 관류할 수 있는 곳은 양단면뿐이므로

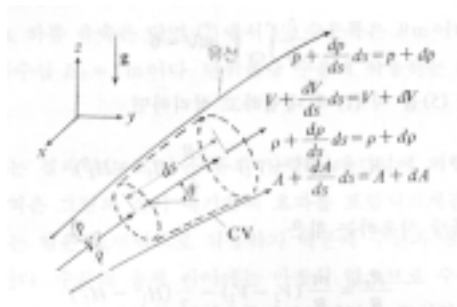


그림 1. 한 유선을 따라 선정한 미분검사역

ds 가 미소할 때 근사적으로 정리하면

$$V(s+ds) = V(s) + \frac{\partial V(s)}{\partial s} ds = V(s) + dV$$

정상유동에서 연속방정식은

$$\int_{CS} \rho \mathbf{v} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

그림에서와 같이 검사역에서 $A(s)$ 에서 $A(s+ds)$ 관계를 식으로 나타내서 정리하면

$$\int_{CS} \rho \mathbf{v} \cdot d\mathbf{A} = \int_{A(s)} \rho \mathbf{v} \cdot d\mathbf{A} + \int_{A(s+ds)} \rho \mathbf{v} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

비압축성유체에 대해 정리하면

유체가 선형적으로 유동할 때 적용되는 선형운동은 아래 식을 만족한다.

여기서 F_{ss} 는 표면력이고 F_{bs} 는 물체력이다. 위 식을 그림의 검사역에 적용하여 정리하면

적분하면 정상유동에서의 Bernoulli 방정식이 된다.

이 방정식을 이용하여 도관내의 임의의 두지점간에는 아래와 같은 유체역학적 관계가 성립된다.

이와 같은 Bernoulli 방정식은 정상유동, 비점성유동, 유선을 따르는 유동, 비압축성유동 조건이 부합될 경우에만 적용 가능하다.

Bernoulli 방정식을 수치해석 프로그램으로 시뮬레이션으로 나타내면 시각적으로 내부현상을 파악할 수 있으며 수학적으로 근거한 결과이기에 신뢰성을 가지므로 Ejector 내부에서 진행되는 현상을 좀더 정확히 알 수 있고 다양한 조건에서의 반응 결과를 예측할 수 있는 자료를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 한국생산기술연구원에서 보유한 ANSYS 프로그램을 이용하였다. 시뮬레이션을 위하여 기본적인 유체의 특성으로서 유입 유체의 유속, 온도, 밀도, 압력, 비열등이 요구되며 결과는 유체의 압력, 유속, 온도에 근거하여 유체흐름특성 및 분포특성등을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과를 확인하기 위해 파일럿플랜트운전 결과를 분석비교하였다. 실험에 사용한 축산폐수는 전북 익산군 왕궁면에 위치한 양돈농가의 돈분뇨를 이용하였는데 시료는 채취 당일 분석을 하는 것을 원칙으로 하고 불가피할 경우 4℃ 이하의 냉장고에 보관 사용하였다. 부유흡착반응을 촉진하기 위해 사용한 Perlite의 원석은 화성암의 석영조면암의 일종으로 규산분이 많은 산성의 암석인데 900 ~ 1,200℃의 급격한 가열 후 내부 진공상의 다수의 기포를 가진 유리질의 입상체가된다. Perlite의 주 성분은 SiO₂로서 75.5%를 차지하고 있으며 Al₂O₃, K₂O, Na₂O의 순으로 구성되어있다.

실험에 사용된 시료는 돈분과 뇨가 혼재된 폐수를 대상으로 하였는데 분석은 축산

폐수처리시설의 방류수 수질기준 항목인 BOD₅, SS, T-N, T-P를 분석하였다. 원수의 분석결과를 보면 pH 8.5, BOD₅는 19,300mg/L ~ 20,400mg/L, COD_{Cr}은 20,000mg/L ~ 21,300 mg/L 이었는데 대부분의 COD 유발물질은 생분해 가능한 물질인 관계로 BOD 농도와 거의 유사한 결과를 나타내었다.

3. 참고문헌

- 1) 축산폐수관리의 효율성 및 경제성 향상방안 연구, 환경관리공단, (1999).
- 2) 축산폐수폐기물의 물리화학적 처리에 관한 연구, 한국환경과학연구협의회, (1991).
- 3) Finite element analysis, Theory and application with ANSYS, Saeed Moaveni, Prentice-Hall, Inc. (1999).
- 4) A first course in the finite element method, Daryl L. Logan, PWS publishing company, (1993).
- 5) 유체역학, 한양대학교 유체기계연구센터, 회중당, (1996).
- 6) Water treatment principles and design, James M. Montgomery, consulting engineers, INC., JOHN WILEY & SONS, (1985).

3. 초록 : 축산폐수의 고효율 처리를 위한 펄라이트 흡착반응에 관한 연구

축산폐수의 고효율 처리를 위한 펄라이트 흡착반응에 관한 연구

A study of perlite adsorption for high efficiency treatment of the livestock wastewater

전용보 · 신명교 · 김경수 · 배우근* · 이법중**

한국생산기술연구원, *한양대학교, **한중기계산업(주)

1. 서론

'99년말 기준으로 우리나라에서 하루에 발생하는 축산폐수량은 약 13만톤으로서 전체 폐하수발생량의 1.0%에 불과하지만 BOD 부하량은 전체부하량의 15% 정도로서 축산폐수의 경우 고농도의 부유성 용존성물질과 질소농도가 상대적으로 매우 높아 호소부영양화의 주원인이 되며 쾌적한 생활환경을 해치는 요인이 되고 있다. 축산 분뇨는 공공처리시설 및 축산농가에서 개별적으로 설치한 자원화시설 및 정화시설에서 발생량의 대부분을 처리하지만 일부는 처리되지 않은상태에서 유출되는 것으로 추정된다. 축산 분뇨는 오염물질의 농도가 특히 고농도이기에 축산폐수처리를 전문적으로 처리하기 위하여 설치된 축산폐수처리장이나 축산농가의 간이처리시설로는 만족스런 처리효율을 얻고 있지는 못하며 최근들어 새로운 공법의 적용이 시도되고 있는 실정이다. 축산폐수를 생물학적공법으로 처리할 경우 고농도인 원폐수가 직접 유입될 경우 미생물 활성이 떨어져 사실상 처리가 어려운 실정이다.

이에 반해 본 연구의 Perlite 흡착반응을 이용한 고온산화공정은 원폐수를 희석하지 않고 직접 처리가 가능하며 반응후 여과된 폐 Perlite 부산물을 비료화함으로서 자원재활용이 가능한 공법이다. 흡착은 중요한 정화 및 분리공정으로서 폐수중의 유기성물질과 색도의 제거 및 대기중의 악취의 제거등에 널리 적용되는 단위공정으로서 폐수조건에 맞는 흡착제 및 운전조건의 선정이 필수적인데 본연구에서는 돈분뇨폐수의 효과적인 처리를 위하여 여기서는 perlite를 적용하여 시험하였다.

2. 본론

시험은 본 연구에서 제작한 pilot plant의 Ejector 시스템이 장착된 고온산화반응조에서 실시하였다. 유입된 원폐수는 Perlite 혼합용과 고온산화용 Ejector 시스템을 통과하게 되며 Burning 시스템에 의하여 가압 및 가온 분위기가 유지되어 Perlite와 돈분·노폐수의 흡착반응이 이루어진다. Burning 시스템은 공정의 주요 단위장치로서 반응공정이 일정한 운전온도 조건을 유지하도록 하여 고온산화 및 흡착반응이 가능하도록 하는 기능을 갖는다.

돈분노폐수를 고온산화공정에서 반응시킴에 있어 흡착반응을 촉진하기 위하여 흡착제를 혼합하는데 본 연구에서는 Perlite를 사용하였다. Perlite의 원석은 화성암의 석영조면암의 일종이며 규산분이 많은 산성의 암석에 속하며 주요성분은 SiO_2 73.4%, Al_2O_3 12.3%, K_2O 5.3%등으로 구성되어 있다. Perlite는 천연에서 산출되는 원석을 900 ~ 1,200℃로 처리한 내부 진공상의 다수의 기포를 가진 유리질의 입상체로서 기존에는 농원예용으로 사용되어 왔는데 흙의 고결화를 방지하고 비료의 효능을 높이기 위하여 사용된다.

실험에 사용한 축산폐수는 전북 익산군 왕궁면에 위치한 돼지 1,000두를 사육하는 양돈농가의 돈분과 노가 혼재된 폐수를 대상으로 이용하였다. 고온산화공정에서 Perlite의 흡착효율을 실험함에 있어 운전인자로는 운전온도, 운전유량, 운전압력, 흡착제의 양등을 선정하였다. 실험간 Perlite의 물성을 파악하고 흡착능을 측정하기 위하여 분진크기시험기, 다공성측정시험기, 비표면적 시험기등을 사용하였다. 분진크기시험기(Particle Size Analyzer)는 건식 및 습식방법에 따른 다양한 분진입자의 크기분포를 측정하며 측정범위는 0.04 - 2000 μm 로서 Beckman Coulter(U.S.A.)사의 LS 13320 Model을 사용하였다. 다공성측정시험기(Mercury Porosimeters)는 수은을 공급하여 기공분포의 Pore 및 Void의 부피 및 분포특성을 분석하는 장비로 측정범위는 360 - 0.03 μm 이며 Micromeritics(U.S.A.)사의 Auto Pore IV 9500 Model을 사용하였다. 비표면적 시험기(Surface Area & Porosimeters)는 기공물질에 의해 기체(N_2 , He)의 흡착량 및 탈착량을 정량화하여 기공물질의 비표면적 및 기공의 크기와 분포를 측정하는 장비로 Micromeritics (U.S.A.)사의 ASAP 2010 Model을 사용하였다. 시료를 처리하지 않은 Perlite의 Particle Size와 Porosity는 다음과 같다. Perlite 샘플은 미성산업에서 생산한 시제품중 A, B, C 세가지 형태를 대상으로 하였다.

Table 1. Perlite Particle Size

Sample	Mean size	Remark
Perlite A	4000 μm	150°C 4hr Vacuum Dry
Perlite B	1500 μm	150°C 4hr Vacuum Dry
Perlite C	73.45 μm	150°C 4hr Vacuum Dry

Table 2. Perlite Porosity

Sample	Porosity	Remark
Perlite A	72.0%	Analysis Pressure : 1.5 - 20000psi
Perlite B	91.3%	Analysis Pressure : 1.5 - 20000psi
Perlite C	84.2%	Analysis Pressure : 1.5 - 20000psi

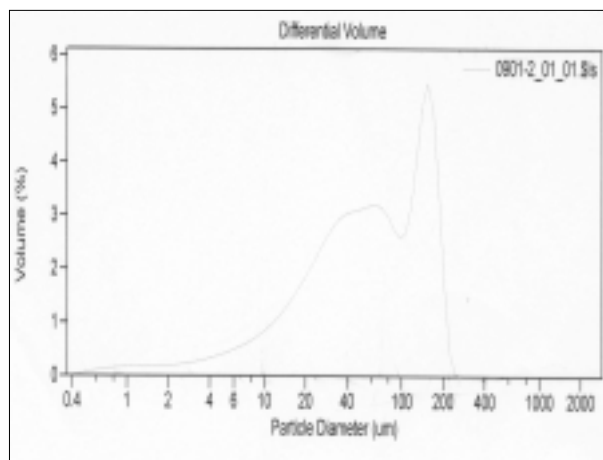


Fig. 1 Perlite C : Particle Diameter

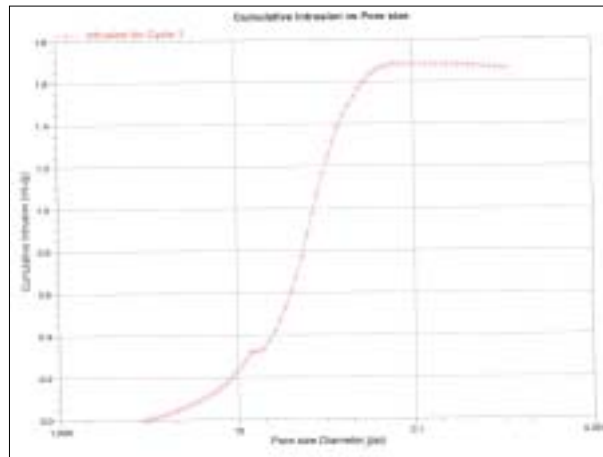


Fig. 2 Perlite A : Porosity(Cumulative Intrusion vs Pore Size)

3. 참고문헌

- 1) 친환경농업을 위한 가축분뇨 퇴비·액비 제조와 이용, 농촌진흥청, 농업과학기술원, (1999).
- 2) 축산폐수관리의 효율성 및 경제성 향상방안 연구, 환경관리공단, (1999).
- 3) 이상용, 액체의 미립화, 민음사, (1996).
- 4) 김석권, 열교환기 설계와 열적 계산법, 신기술, (2000).
- 5) Kenneth Steele, Animal waste and the land-water interface, Lewis Publishers, (1995).
- 6) James M. Montgomery, consulting engineers, Water treatment principles and design, INC., JOHN WILEY & SONS, (1985).

4. 초록 : 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 배추에 대한 시용효과

축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 배추에 대한 시용효과 Perlite as Piggery Manure Treatment Agent Affected the Growth of Chinese Cabbage(*Brassica Compestris L. ssp. Pekinensis Rupr.*)

김정제¹, 조병옥¹, 양재의¹, 임병일¹, 이선형^{*1}, 신명교², 전용보²

J.J. Kim, B.O. Cho, J.E. Yang, B.I. Lim, S.H. Lee, M.K. Shin, Y.B. Jun

강원대학교 생물환경학부, 한국생산기술연구원

Division of Biological Environment, Kangwon National University

Korea Institute of Industrial Technology

본 시험은 축산폐수 처리제로 사용되었던 perlite의 시용이 배추의 생육, 수량 및 토양의 화학성 변화에 미치는 영향을 구명하고자 3개년(2000~2002)동안 수행하였다. 처리내용은 NPK(N-32kg10a-1, P-20kg10a-1, K-27kg10a-1), NPK+Per10%, NPK+Per20%, PNI+Per30%등 9개 처리로 하였으며, perlite는 작토층에 대한 용적율의 10%, 20% 및 30%의 양을 시용하였다. perlite와 화학비료, 퇴비의 처리는 배추 정식 20일전에 했다. 배추 20dflay를 80×45cm의 재식거리를 따라 정식하고 수확하였다.

시험에 사용된 perlity의 무기 성분은 T-N 1.82%, 인산 0.262%, 칼륨 2.084%였으며, 배추의 생육은 NPK+Per구와 NPK+OM에서 엽장이 길었으며, 구교와 구포도 증수되었다. NPK구(2.447kg10a-1)의 생중에 비하여 NPK+Per30%구는 43%, NPK+Per20%구는 42%의 증수를 보였다. 토양중의 무기성분 함량은 NPK+TP구에서 높은 편이고, T-N, K 및 OM의 함량은 시험중 보다는 수확기에 더 많았다. NPK+OM구는 K를 제외한 모든 성분의 함량이 많은 경향을 보였다. 수확기 식물체중의 양분함량도 NPK+Per구 토양에서 T-N, T-P, K₂O 및 CaO의 함량이 높았다.

Perlity는 감압분사식 방법에 따라 축산 폐수의 BOD를 효율적으로 제거하였고 이때 발생하는 perlite sludge는 배추의 생육과 토양비옥도에 긍정적인 영향을 보여 자원으로 재활용 될 수 있다.

주제어 : 축산폐수, Perlity, 배추

주연구자 연락처 : E-mail ; kimji@kangwon.ac.kr

(Tel : 033-250-6442)

Table 1. Growth and yield parameters of Chinese cabbage as influenced by experimental product of the Perlite treated with piggery manure.

Treatment	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	구 고 (cm)	구 폭 (cm)	엽 수 (개/1주)	수량 (kg/10a)	지 수 (%)
Control	31.0	17.0	16.0	3.5	81.0	1.618	66.1
NPK	44.0	24.0	22.0	8.0	88.0	2.447	100
NPK+TP10%	43.0	24.0	21.0	8.0	91.0	3.137	128.2
NPK+TP20%	44.0	22.0	21.0	10.0	91.3	3.490	142.6
NPK+TP30%	45.0	25.0	23.0	9.5	89.0	3.509	143.4
TP 10%	41.5	23.0	18.5	7.5	91.3	2.419	98.5
TP 20%	40.0	24.5	20.5	7.5	92.0	2.334	95.4
TP 30%	40.0	25.0	21.0	10.0	92.0	3.078	125.8
NPK +OM	45.5	24.5	22.0	8.5	86.0	3.090	126.3

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- Per : Perlite treated with piggery mamure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis

Table 2. Cnematic properties of soil as affected by treatments.

Treatment	pH		Ava-P ₂ O ₅		K		Ca		OM		T-N	
	(1:5)		mg/kg		- - cmol(+)/kg		- -		- - - %		- - -	
	25days	Har	25days	Har	25days	Har	25days	Har	25days	Har	25days	Har
Control	7.47	7.40	776	791	12.2	10.1	64.2	60.3	1.81	1.73	0.19	0.18
NPK	7.30	7.24	813	810	11.1	10.1	70.7	68.7	1.84	1.70	0.26	0.24
NPK+TP	7.13	7.27	810	817	13.2	14.9	67.7	70.1	1.94	2.04	0.26	2.04
10%												
NPK+TP	7.41	7.41	824	820	17.9	18.1	92.7	84.4	2.10	2.01	0.26	2.01
20%												
NPK+TP	7.22	7.38	816	812	16.2	15.3	96.3	96.1	2.09	2.18	0.27	2.18
30%												
TP 10%	7.41	7.34	802	812	14.2	16.7	105.4	110.9	1.80	1.82	0.24	1.82
TP 20%	7.45	7.39	801	810	17.7	16.7	107.6	105.0	1.78	1.81	0.25	1.85
TP 30%	7.40	7.39	806	801	17.9	16.1	118.5	102.0	2.01	1.90	0.25	1.90
NPK + OM	7.42	7.49	850	891	12.2	14.6	102.8	96.1	1.92	2.46	0.34	2.46

- NPK : NPK fertilizer as recommended

- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis
- Har : at harvest time
- 35days : 35 days after treatments.

Table 3. Nutrient uptake by Chinese caggabe as affected by treatment combinations.

Treatment	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Al
	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -
	- - - - -	- - - - -	% - - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -
Control	3.24	0.38	1.29	0.94	0.42	0.07	0.12
NPK	3.66	0.43	1.34	1.34	0.62	0.15	0.22
NPK + TP 10%	4.52	0.43	1.66	1.19	0.69	0.03	0.02
NPK + TP 20%	4.14	0.42	1.78	1.24	0.70	0.02	0.03
NPK + TP 30%	4.08	0.47	1.70	1.36	0.64	0.02	0.02
TP 10%	3.43	0.40	1.24	0.96	0.68	0.04	0.07
TP 20%	3.68	0.39	1.69	0.98	0.64	0.05	0.06
TP 30%	4.20	0.42	1.54	1.04	0.67	0.03	0.04
NPK + OM	4.28	0.54	1.94	1.56	0.98	0.06	0.07

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis

5. 초록 : 축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 상추에 대한 시용효과

축산폐수 처리제로 사용된 Perlite의 상추에 대한 시용효과
Effect of Perlite from Piggery Manure treatment System on the
Growth of Lettuce(*Lactuca Sativa L.*)

김정제¹, 조병옥¹, 양재의¹, 임병일¹, 이선형^{*1}, 신명교², 전용보²
J.J. Kim, B.O. Cho, J.E. Yang, B.I. Lim, S.H. Lee, M.K. Shin, Y.B. Jun
강원대학교 생물환경학부, 생산기술연구원
Division of Biological Environment, Kangwon National University
Korea Institute of Industrial Technology

축산폐수를 물리적 감압분사식으로 처리할 때 사용된 perlite는 질소화합물과 BOD 구성성분을 흡착하게 되는데 이 과정에서 발생하는 부산물인 perlite의 시용효과를 구명하고자 2000년부터 2002년까지 상추를 대상으로 pot 시험을 수행하였다.

공시 토양은 pH 6.2, OM2.5%, Ava-P₂O₅ 177mg/kg-1 및 K 0.49 cmol(+)kg-1의 미사질양토이다. 처리내용은 NPK(N-27.6, P-15.0, K-21kg10a-1), NPK+Per10%, NPK+Per20%, NPK+Per30%, Per10%, Per20%, Per30%등 9개처리로 하였으며, 상추는 20일묘를 정식하였다.

시험결과 perlite의 시용량이 증가할수록 엽수가 크게 증가하였으며, 엽장 및 엽폭도 증가하여 NPK구에 비해 NPK+Per30%구는 48%, NPK+Per20%구는 34% 증수되었다. 토양 및 식물체중의 양분함량도 NPK+perlite시용구에서 각 성분 공히 많은 함량을 보였다.

주제어 : 축산폐수, Perlite, 상추

주연구자 연락처 : E-mail ; kimjj@kangwon.ac.kr

(Tel : 033-250-6442)

Table 1. Growth and yield parameters of Lettuce as influenced by experimental product of the Perlite treated with piggery manure.

Treatment	엽장 (cm)		엽폭 (cm)		엽수 (개/plant)		생중량 (g/plant)		Index (%)
	35days	Har	35days	Har	35days	Har	35days	Har	
Control	13.3	16.3	5.6	6.3	5.3	10.7	5.9	14.6	32.4
N P K	20.8	22.2	9.2	10.0	11.1	16.3	18.64	45.07	100
NPK +TP 10%	18.9	23.3	9.3	10.0	11.8	17.7	19.96	47.93	106.3
NPK +TP 20%	18.8	27.0	9.4	10.0	14.2	21.3	19.68	60.55	134.3
NPK +TP 30%	18.7	27.2	9.9	10.7	13.6	22.7	26.78	66.8	148.2
TP 10%	18.3	23.7	8.0	9.8	9.9	16.0	15.33	43.27	96.0
TP 20%	19.8	25.5	9.5	10.5	13.1	19.0	22.66	48.33	107.2
TP 30%	18.4	27.0	8.8	9.7	12.7	19.7	20.66	53.17	117.9
NPK+OM(1500kg/10a)	19.2	26.3	9.8	11.0	12.0	24.5	33.99	92.15	204.4

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- Per : Perlite treated with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 35days :35 days after treatments
- Har. : at harvest time
- 10, 20, 30% : Perlite(%) incorporated into soil as volumn basis

Table 2. Chemical properties of soil as affected by treatments.

Treatment	pH	Ava-P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	OM	T-N
	(1:5)	mg/kg	- -	cmol(+)/kg	- -	- - - %	- - -
Control	6.78	124.76	2.412	22.202	6.633	1.15	0.13
NPK	5.94	221.34	3.167	23.865	6.282	1.69	0.16
NPK+TP 10%	6.75	338.66	3.317	25.314	8.067	1.25	0.15
NPK+TP 20%	6.64	627.94	5.689	27.357	11.435	1.67	0.16
NPK+TP 30%	7.02	558.93	7.186	36.713	11.612	1.51	0.16
TP 10%	6.96	168.63	3.245	28.590	8.403	1.64	0.16
TP 20%	6.87	526.17	4.262	28.722	9.594	1.82	0.16
TP 30%	7.14	509.04	5.577	28.347	11.406	1.63	0.16
NPK + OM	7.71	746.65	12.246	127.191	18.952	4.46	0.17

- NPK : NPK fertilizer as recommended

- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis
- Har : at harvest time
- 35days : 35 days after treatments.

Table 3. Nutrient uptake by Lettuce(leaf) as affected by treatment combinations.
(%)

Treatment	T-N		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO	
	35days	Har.	35days	Har.	35days	Har.	35days	Har.	35days	Har.
Control	2.59	1.41	0.32	0.30	1.06	1.04	0.64	0.60	0.37	0.43
NPK	3.93	2.86	0.34	0.37	1.34	1.37	1.02	1.24	0.75	0.79
NPK +TP 10%	4.23	3.39	0.36	0.34	1.38	1.40	0.68	0.84	0.71	0.74
NPK +TP 20%	4.41	4.45	0.38	0.38	1.40	1.41	0.73	0.82	0.76	0.70
NPK +TP 30%	3.92	3.99	0.42	0.40	1.46	1.48	0.70	0.87	0.74	0.76
TP 10%	3.55	2.21	0.38	0.36	1.27	1.24	0.72	0.78	0.48	0.52
TP 20%	3.73	2.72	0.37	0.36	1.36	1.38	0.68	0.70	0.49	0.44
TP 30%	4.10	3.42	0.40	0.38	1.37	1.36	0.74	0.68	0.52	0.58
NPK +OM	4.11	4.13	0.39	0.42	1.68	1.52	1.08	1.04	0.85	0.78

- NPK : NPK fertilizer as recommended
- TP : Treated Perlite with piggery manure
- OM : Organic manure by-product fertilizers
- 35days : 35 days after treatments.
- Har : at harvest time
- 10, 20, 30% : Perlites(%) incorporated into soil as volumn basis.