수산물 위판장 폐수 및 폐기물의 처리기술 개발

Development of treatment technology for wastewater and solid waste from fish market

2006. 12.

울산대학교
군산대학교
(주)태화환경

해 양 수 산 부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “수산물 위판장 폐수 및 폐기물의 처리기술 개발”에 관한 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006년 12월 22일

주관연구기관명 :울산대학교
총괄연구책임자 : 박 흥 석
연 구 원 : 김 정 훈
연 구 원 : 김 성 주
연 구 원 : 이 대 희
협동연구기관명 :군산대학교
협동연구책임자 : 정 병 곤
협동연구기관명 :태화환경㈜
협동연구책임자 : 정 왕 석

요 약 문

Ⅰ. 제 목

수산물 위판장 폐수 및 폐기물의 처리기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

수산물 위판장에서 발생하는 폐기물과 세척폐수는 악취 등의 공중위생상의 문제를 유발시키고, 미처리된 위판장 세척폐수는 인근 해역으로 유입되어 심각한 오염을 유발시킬 수 있다. 본 연구에서는 수산물 위판장 폐수 및 폐기물의 적정 처리 기술을 개발하여 수산물 위판장의 설치 및 운영으로 인한 해양 및 육상 환경오염 유발 요인을 최소화하는데 그 연구의 최종 목표를 두었다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 폐수 처리분야와 폐기물 처리분야로 나누어 수행하였으며, 폐수분야는 수산물 위판장 폐수 처리기술의 설계 및 운전 인자 연구와 위판장 폐수 처리의 실용화 연구를 수행하였다. 세부 연구 내용은 폐수특성조사, SBR 반응기를 이용한 설계인자 연구, 수산물 위판장 폐수처리 공정의 최적화, 연계 가능한 물리화학적 전처리방안에 대해 검토 및 Bench scale 반응기를 이용한 최적 처리방안 연구 등이 있다.

폐기물분야는 혐기성 건 발효를 통한 혐기성 소화 타당성에 대한 연구를 수행하였다. 세부 연구 내용으로는 폐기물특성조사, 폐기물의 혐기성 생분해도 실험, 연속반응기를 이용한 폐기물의 메탄발효, 탄화공정 연구 등이 있다.

Ⅳ. 연구개발결과

1) 수산물 위판장 폐수처리기술 개발

(가) 수산물 위판장 폐수는 부하변동이 크고 대부분 용존물질로서 전처리의 효과가 크지 않았으며, COD/N 비가 질소제거 효율에 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

(나) 수산물 위판장 폐수처리 공정의 최적화를 위한 신경망모델을 개발하였으며, 개발된 신경망모델은 SBR을 이용한 위판장 폐수처리 시설의 설계 및 운영에 활용이 가능한 것으로 평가되었다.

(다) 요인분석 실험설계법에 의해 염분농도, C/N 및 폭기시간 등의 초기 조건을 달리한 10개 (2^3 full factorial design)의 실험을 통해 처리효율에 영향을 미치는 요인은/N 비, 염분농도 순 인 것으로 확인되었다.

(라) 수산물 위판장 폐수처리 시스템은 조목스크린, 세목스크린, 균등조 및 SBR 반응기로 이루어진 간단하면서 유지관리가 편리한 공정이 바람직하다.

(마) Bench scale을 이용한 실폐수 18.7 ~ 92.4mgBOD/gVSS/day의 범위에서 BOD 10mg/l 이하의 안정된 처리수질을 보여 주었으며, 질소의 처리를 위해서는 C/N 비 유지를 위한 외부탄소원의 주입이 필요한 것으로 확인되었다.

2) 수산물 위판장 폐기물처리기술 개발

(가) 수산물 위판장 폐기물의 평균 고형물 농도는 어류 종류에 따라 21 ~ 31% 정도의 분포를 보였고, 혐기성 생분해도 측정 결과 400 ~ 450ml/gVS의 메탄가스가 발생되었다.

(나) 고등어, 갈치, 조기를 대상으로 내장이나 몸통, 개별 생선이나 이들을 혼합한 시료에 대하여 탄화실험한 결과, 탄화 패턴은 모두 비슷하였으며, 최적 탄화온도 및 시간은 각각 500℃와 30분인 것으로 확인되었다.

(다) 연속 메탄발효 시험에서 3,000㎎COD/L의 유기물 농도가 유지되는 반응조는 상등액 재순환 유무와 관계없이 비슷한 처리효율을 보였으나, 고농도인 10,000㎎COD/L의 경우 상등수 재순환을 통하여 초기에 슬러지 층을 유동시키지 않으면 식종 슬러지의 불활성화가 일어났다.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

본 과제는 수산물 위판장에서 발생되는 폐수 및 폐기물로 부터의 환경오염을 최소화하는 기술개발에 목표를 두고 연구를 진행하였다. 하지만 과제 진행기간 중, 수산물 위판장에서 배출되는 폐기물은 음식물쓰레기 등의 유기성폐기물과 함께 혐기성 합병소화 처리로, 수산물 위판장 폐수의 경우 하수처리장과 연계처리로 환경 및 해양환경 정책 방향이 전환되었다.

그러나 본 연구에서 얻어진 수산물 위판장 폐수 처리 기술 개발 연구의 결과물은 도서지역 및 낙도 등 하수연계처리가 어려운 지역에 적용하거나 기존 위판장 폐수처리시설의 효율개선 분야 등에 활용될 수 있다.

S U M M A R Y

Ⅰ. Title

Development of treatment technology for wastewater and solid waste from fish market

Ⅱ. Objective

The solid waste and cleaning wastewater generated from fish markets induce several problems such as public sanitation, malodor, etc. and discharging of untreated cleaning wastewater from fish market may cause serious environmental pollution problems in the nearby sea.

This research aims at developing optimum treatment technology for the solid waste and wastewater generated from a fish market to minimize the impact of environmental pollution on sea and land by establishing and operating a fish market.

Ⅲ. Contents

This research was carried out in solid waste and wastewater area. In wastewater, study was conducted to find the design and operational parameters and application method for fish market wastewater treatment. The detailed research included the studies on the characteristics of wastewater, design factors using SBR, optimization of treatment process for the fish market wastewater, investigation of potential physicochemical pre-treatment and optimal treatment method using bench scale reactor.

In solid waste, the feasibility of anaerobic dry fermentation of waste has been studied. The research includes study on the characterization of solid waste, experiments on anaerobic biodegradability of waste, methane fermentation from solid waste using continuous reactor and carbonization.

Ⅳ. Results

1) Development of treatment technology for wastewater from fish market

(1) The fish market wastewater had high fluctuation in loading rate and consisted of mainly soluble materials, which indicated that the physico-chemical pre-treatment would not be effective and COD/N ratio had a great effect on nitrogen removal efficiency.

(2) Neutral Networks model was developed for the optimization of treatment process for fish processing unit wastewater. The Neutral Networks model had the practicability

to design and operate the SBR systems treating the fish market wastewater using SBR.

(3) The experimental results of 2^3 full factorial design with different initial condition such as saline concentration, C/N ratio and aeration time, confirmed that major factors affecting treatment efficiency were C/N ratio, saline concentration and aeration time in order.

(4) Practical SBR system for fish market wastewater treatment was proposed to be composed of coarse screen, fine screen, equalization basin and SBR reactor in sequence.

(5) Fish market wastewater could be treated stably below 10mgBOD/l at the loading rate 18.7 ~ 92.4mgBOD/gVSS/day in batch scale SBR reactor. However to remove nitrogen effectively, external carbon source was required to be added to maintain proper C/N ratio.

2) Development of treatment technology for solid waste from fish market

(1) The average solid content of fish market waste was about 21 ~ 31% according to the type of fish and anaerobic biodegradability test showed the methane generation rate of 400 ~ 450ml/gVS.

(2) The carbonization experiment was carried out by individual and mixed samples from bowels, trunk, and individual fish of mackerel, hairtail and croaker. Carbonization patterns were very similar and the optimal carbonization temperature and time was 500℃ and 30minutes, respectively.

(3) In continuous methane fermentation experiments, similar treatment efficiency was obtained at 3,000mgCOD/l regardless of recycling of supernatant. However without sludge fluidization by recycling water, inactivation of seeding sludge occured in high concentration around 10,000㎎COD/L.

Ⅴ. Application plan

This research aims at minimizing environmental pollution by wastewater and solid waste generated from fish markets. But the national environmental and marine environmental policy for solid waste and wastewater generated from fish market was changed during the project. Fish market waste mixed with organic waste could be treated by anaerobic digestion. While fish market wastewater could be treated in municipal wastewater treatment plant.

However, the results from wastewater treatment from fish market could be applied to

remote and island regions where the installation of municipal wastewater treatment facility is difficult and to enhance the performance of poorly operated existing fish market wastewater treatment facility.

CONTENTS

Abstract ····· i
Contents ····· vi

Ⅰ. Research objective ····· 1

1. Development of technology for wastewater treatment ····· 1
1.1. Research objective ····· 1
1.2. Aspect of evaluation ····· 1
2. Development of technology for waste treatment ····· 2
2.1. Research objective ····· 2
2.2. Evaluation guideline ····· 2

Ⅱ. Research achievement ····· 3

1. Development of technology for wastewater treatment(2 yr) ····· 3
1.1. Research achievement ····· 3
1.1.1. A study on design and operational parameters for treatment of fish market wastewater ····· 3
1.1.2. A study on practical application for treatment of fish market wastewater ····· 3
1.2. Self-evaluation of the achievement based on the evaluation guideline ····· 3
2. Development of technology for waste treatment(1 yr) ····· 4
2.1. Research achievement ····· 4
2.1.1. A study on characteristics of waste generation ····· 4
2.1.2. An experiment on the degree of treatment ····· 4
2.2. Self-evaluation of achievement based on the evaluation guideline ····· 4

Ⅲ. Progress chart of research ····· 5

1. Development of technology for wastewater treatment ····· 5
2. Development of technology for waste treatment ····· 5

Ⅳ. Research method ····· 6

1. Development of technology for wastewater treatment ····· 6
1.1. A study on design and operational parameters for treatment of fish market wastewater ····· 6

1.1.1. A study on characteristics of wastewater ····· 6
1.1.2. A study on design factors using SBR reactor ····· 6
1.2. A study on practical application for the treatment of fish market wastewater ····· 6
1.2.1. Optimization of treatment process for fish market wastewater ····· 6
1.2.2. A study on physicochemical treatment in connection with SBR process ····· 6
1.2.3. Optimization study using bench scale reactor ····· 6
2. Development of technology for waste treatment ····· 6
2.1. A study on generation and characteristics of solid waste ····· 6
2.2. A feasibility study on the application of the dry fermentation ····· 6
2.3. An experiment on carbonization ····· 7
2.4. Operation of lab scale dry fermenter ····· 8

Ⅴ. Research contents ····· 10

1. Development of technology for wastewater treatment ····· 10
1.1. Research contents ····· 10
1.1.1. A study on design and operational parameters for the treatment of fish market wastewater ····· 10
1.1.2. A study on practical application for treatment of fish market wastewater ····· 11
1.2. Research results ····· 15
1.2.1. A study on design and operational parameters for the treatment of fish market wastewater ····· 15
1.2.2. A study on practical application for treatment of fish market wastewater ····· 30
2. Development of technology for waste treatment ····· 62
2.1. A study on generation and characteristics of waste ····· 62
2.2. Survey for characterizing the waste generation ····· 67
2.2.1. A method of survey ····· 67
2.2.2. The contents of survey ····· 67
2.2.3. The result of survey ····· 68
2.2.4. Conclusion ····· 73
2.3. Feasibility study on dry fermentation application ····· 73
2.4. Carbonization ····· 80
2.4.1. A yield change in carbonization of fish offal ····· 80
2.4.2. The results ····· 87
2.5. Operation of lab. scale dry fermenter ····· 88

Ⅵ. Research achievement ····· 92

1. Development of technology for wastewater treatment ····· 92

2. Development of technology for waste treatment ····· 93

Ⅶ. Plan of practical application ····· 94

Ⅷ. Breakdown of budget for research and development ····· 95

1. Development of technology for wastewater treatment ····· 95
2. Development of technology for waste treatment ····· 96

Ⅸ. References ····· 97

1. Development of technology for wastewater treatment ····· 97
2. Development of technology for waste treatment ····· 100

<List of tables>

[Table 1] SBR operational schedule ····· 11
[Table 2] Experimental condition for seeking influence factor ····· 12
[Table 3] Parameters of SBR operation ····· 14
[Table 4] Range of influent concentration ····· 14
[Table 5] Removal efficiency of organic under different operating condition by various saline concentration ····· 16
[Table 6] Removal efficiency of nitrogen under different operating condition by various saline concentration ····· 19
[Table 7] Parameters and run order for evaluating network performance ····· 31
[Table 8] Relationship of training parameters, run order and the correlation coefficient, R 32
[Table 9] Correlation coefficient, R values at network training and testing ····· 32
[Table 10] Operational conditions during acclimatization stage ····· 35
[Table 11] Classification by treatment facilities ····· 39
[Table 12] Marine products sales facilities ····· 39
[Table 13] Marine products processing facilities ····· 41
[Table 14] Marine products sales facilities in coastal area ····· 42
[Table 15] The present water quality of fish market in coastal area ····· 43
[Table 16] Treatment efficiency of unit process in J fish market ····· 47
[Table 17] Treatment process of public facilities for livestock wastewater treatment ····· 51
[Table 18] Production of fish offal from fish market ····· 62
[Table 19] The major fish in fish market of country by year ····· 63
[Table 20] The major fish and the fish sales by year ····· 64
[Table 21] The major fish sales in Gunsan city ····· 65
[Table 22] The fish sales by month in fish market of Korea(99~03 year) ····· 66
[Table 23] Characteristics of the anaerobic media for anaerobic biodegradability test ····· 74
[Table 24] Degradation kinetic constant(k) and ultimate methane yield of fish offal ····· 79
[Table 25] Average chemical compositions of food waste used in this study ····· 79
[Table 26] Chemical characteristics of digester ····· 89

<List of figures>

[Figure 1] Alternatives as deincineration ····· 8
[Figure 2] Schematic diagram of experimental unit ····· 9
[Figure 3] SBR reactor ····· 10
[Figure 4] Schematic of SBR ····· 12
[Figure 5] Schematic of SBR ····· 13
[Figure 6] Figure of operating ····· 14
[Figure 7] Change of organic concentration in effluent at various saline concentration ····· 16
[Figure 8] Change of NH_4^+-N concentration in effluent at various saline concentration ····· 17
[Figure 9] Change of NO_3^--N concentration in effluent at various saline concentration ····· 18
[Figure 10] Change of NO_2^--N concentration in effluent at various saline concentration ····· 18
[Figure 11] Removal efficiency of nitrogen under different operating conditions at various saline concentration ····· 19
[Figure 12] Change of MLSS concentration at various saline concentration ····· 20
[Figure 13] Nitrogen behavior during 1cycle under C condition ····· 20
[Figure 14] Organic behavior during 1cycle under C condition ····· 21
[Figure 15] Alkalinity behavior during 1cycle under C condition ····· 22
[Figure 16] DO behavior during 1cycle under C condition ····· 22
[Figure 17] Change of organic concentration of the fish processing unit wastewater ····· 23
[Figure 18] Change of nitrogen concentration of the fish processing unit wastewater ····· 24
[Figure 19] Organic and nitrogen removal efficiency at various biomass concentration ····· 25
[Figure 20] Comparison of F/M ratios of real and synthetic wastewater at different operational stages ····· 25
[Figure 21] Comparison of effluent concentrations of real and synthetic wastewater at different F/M ratio ····· 26
[Figure 22] Comparison of removal efficiencies of real and synthetic wastewater at different F/M ratio ····· 26
[Figure 23] Comparison of nitrogen loadings of real and synthetic wastewater at different operational stages ····· 27
[Figure 24] Comparison of effluent concentrations of real and synthetic wastewater at different nitrogen loadings ····· 28
[Figure 25] Comparison of removal efficiencies of real and synthetic wastewater at different nitrogen loadings ····· 28
[Figure 26] Prediction potential of the ANN model during network training ····· 33
[Figure 27] Prediction potential of the ANN model during network testing ····· 34
[Figure 28] Sensitivity analysis of model parameters ····· 35
[Figure 29] COD removal efficiency under factorial design in SBR ····· 36
[Figure 30] Nitrogen removal efficiency under factorial design in SBR ····· 37

[Figure 31] MLVSS concentration under factorial design in SBR ····· 37
[Figure 32] Pareto plot to rank the most influential factor on the response variable ····· 38
[Figure 33] Schematic of marketing process at J live-fish market in U city ····· 46
[Figure 34] Process diagram of wastewater treatment at J live-fish market in U city ····· 47
[Figure 35] Process diagram of wastewater treatment at live-fish market in Donghae city 48
[Figure 36] Process diagram of wastewater treatment at live-fish market in Sokcho city · 49
[Figure 37] Process diagram of wastewater treatment at live-fish market in Goseong country ····· 50
[Figure 38] Process diagram of SBR treatment process for treating wastewater from a fish processing unit ····· 51
[Figure 39] COD_{OH} profiles at different operational stages ····· 52
[Figure 40] COD_{Cr} profiles at different operational stages ····· 52
[Figure 41] BOD_5 profiles at different operational stages ····· 53
[Figure 42] BOD_5 concentration profiles of effluent at different F/M condition ····· 54
[Figure 43] BOD_5 removal efficiencies at different F/M condition ····· 54
[Figure 44] BOD_5 removal efficiencies at different BOD_5 loading volume ····· 55
[Figure 45] NH_4^+-N profiles at different operational stages ····· 56
[Figure 46] NO_3^--N profiles at different operational stages ····· 56
[Figure 47] T-N profiles at different operational stages ····· 57
[Figure 48] Profiles of T-N removal efficiency at different C/N ratio ····· 58
[Figure 49] T-P profiles at different operational stages ····· 59
[Figure 50] Cl^- profiles at different operational stages ····· 60
[Figure 51] Biomass concentration profiles at different operational stages ····· 60
[Figure 52] Relative distribution of major fish sales at fish market in Korea ····· 63
[Figure 53] Change of the fish sales by year ····· 64
[Figure 54] Change of the fish sales by month in Korea(99~03 year) ····· 66
[Figure 55] Comparison of the fish sales by month in Gunsan city ····· 67
[Figure 56] Cumulative methane production(ml CH_4/g VS) ····· 76
[Figure 57] Cumulative methane production(ml CH_4/g VS) ····· 76
[Figure 58] Cumulative methane production(ml CH_4/g VS) ····· 76
[Figure 59] Cumulative methane production(ml CH_4/g VS) ····· 77
[Figure 60] Cumulative methane production(ml CH_4/g VS) ····· 77
[Figure 61] Cumulative methane production(ml CH_4/g VS) ····· 77
[Figure 62] Degradation kinetic constant(k) of mackerel components ····· 78
[Figure 63] Degradation kinetic constant(k) of hairtail components ····· 78
[Figure 64] Degradation kinetic constant(k) of viscera components ····· 78
[Figure 65] Yield of fish offal carbonization at 400, 500, 600 and 700℃ for 5min with inert N_2 gas ····· 80
[Figure 66] Yield of fish offal carbonization at 400, 500, 600 and 700℃ for 10min with inert

N_2 gas ····· 80
[Figure 67] Yield of fish offal carbonization at 400, 500, 600 and 700℃ for 15min with inert N_2 gas ····· 80
[Figure 68] Yield of fish offal carbonization at 400, 500, 600 and 700℃ for 30min with inert N_2 gas ····· 81
[Figure 69] Yield of fish offal carbonization at 400, 500, 600 and 700℃ for 45min with inert N_2 gas ····· 81
[Figure 70] Yield of fish offal carbonization at 400, 500, 600 and 700℃ for 60min with inert N_2 gas ····· 81
[Figure 71] Yield of mackerel carbonization at 400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas ····· 82
[Figure 72] Yield of hairtail carbonization at 400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas ····· 82
[Figure 73] Yield of yellow corvina carbonization at 400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas ····· 83
[Figure 74] Yield of viscera carbonization at 400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas ····· 83
[Figure 75] Yield of synthesis carbonization at 400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas ····· 83
[Figure 76] Yield of fish offal carbonization at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400℃ with inert N_2 gas ····· 84
[Figure 77] Yield of fish offal carbonization at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 500℃ with inert N_2 gas ····· 84
[Figure 78] Yield of fish offal carbonization at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 600℃ with inert N_2 gas ····· 84
[Figure 79] Yield of fish offal carbonization at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 700℃ with inert N_2 gas ····· 85
[Figure 80] Yield of mackerel carbonization at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas ····· 85
[Figure 81] Yield of hairtail carbonization at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas ····· 86
[Figure 82] Yield of yellow corvina carbonization at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas ····· 86
[Figure 83] Yield of viscera carbonization at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas ····· 86
[Figure 84] Yield of synthesis carbonization at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas ····· 87
[Figure 85] Variation of influent and effluent COD concentration at reactor B-2 and B-3 during operation time ····· 89

[Figure 86] Variation of COD concentration in reactor A-2 & A-3 during operation time · 89
[Figure 87] Variation of influent and effluent COD concentration in B-1 reactor ····· 90
[Figure 88] Variation of COD removal efficiencies in each reactor depending on operation time ····· 90

목 차

요 약 문 ····· i
목 차 ····· xiv

제 1 장 연구개발 목표 및 평가의 착안점 ····· 1

1 절 폐수 처리 분야 ····· 1
1. 연구개발 목표 ····· 1
2. 평가의 착안점 ····· 1
2 절 폐기물 처리 분야 ····· 2
1. 연구개발 목표 ····· 2
2. 평가의 착안점 ····· 2

제 2 장 연구개발 목표의 달성도 ····· 3

1 절 폐수 처리 분야 ····· 3
1. 연구개발 목표의 달성도(2년) ····· 3
가. 수산물 위판장 폐수 처리기술의 설계 및 운전인자 연구 ····· 3
나. 위판장 폐수 처리의 실용화 연구 ····· 3
2. 상기 평가의 착안점에 따른 달성도에 대한 자체 평가 ····· 3
2 절 폐기물 처리분야(1년) ····· 4
1. 연구개발 목표의 달성도 ····· 4
가. 폐기물 발생특성 조사 ····· 4
나. 처리도 실험 ····· 4
2. 상기 평가의 착안점에 따른 달성도에 대한 자체 평가 ····· 4

제 3 장 계획대비 진도표 ····· 5

1 절 폐수 처리 분야 ····· 5
2 절 폐기물 처리 분야 ····· 5

제 4 장 연구수행 방법 ····· 6

1 절 폐수 처리 분야 ····· 6
1. 1차 년도 : 수산물 위판장 폐수처리기술의 설계 및 운전 인자 연구 ····· 6
가. 폐수특성조사 ····· 6
나. SBR 반응기를 이용한 설계 인자 연구 ····· 6
2. 2차 년도 : 수산물 위판장 폐수처리기술의 실용화 연구 ····· 6

가. 수산물 위판장 폐수처리 공정의 최적화 ····· 6
나. SBR 공법과 연계 가능한 물리화학적 전후 처리 검토 ····· 6
다. Bench scale 반응기를 이용한 최적 처리방안 연구 ····· 6
2 절 폐기물 처리 분야 ····· 6
1. 폐기물 발생량 및 발생특성 파악 ····· 6
2. Dry Fermentation 적용 가능성 평가 ····· 6
3. 탄화실험 ····· 7
4. Dry Fermenter를 이용한 실험실 규모 반응조 운전 ····· 8

제 5 장 연구수행 내용 및 결과 ····· 10

1 절 폐수 처리 분야 ····· 10
1. 연구내용 ····· 10
가. 수산물 위판장 폐수처리기술의 설계 및 운전 인자 연구(1차 년도) ····· 10
나. 수산물 위판장 폐수처리기술의 실용화 연구(2차 년도) ····· 11
2. 연구결과 ····· 15
가. 수산물 위판장 폐수처리기술의 설계 및 운전 인자 연구(1차 년도) ····· 15
나. 수산물 위판장 폐수처리기술의 실용화 연구(2차 년도) ····· 30
2 절 폐기물 처리 분야 ····· 62
1. 폐기물 발생량 및 발생특성 파악 ····· 62
2. 폐기물 발생특성 파악을 위한 설문조사 내용 및 결과 ····· 67
가. 설문조사 방법 ····· 67
나. 설문내용 ····· 67
다. 조사결과 ····· 68
라. 결론 ····· 73
3. Dry Fermentation 적용 가능성 평가 ····· 73
4. 탄화실험의 연구내용 및 결과 ····· 80
가. 탄화 fish offal의 수율변화 ····· 80
나. 결과 ····· 87
5. Dry Fermenter를 이용한 실험실 규모 반응조 운전 ····· 88

제 6 장 연구성과 ····· 92

1 절 폐수 처리 분야 ····· 92
2 절 폐기물 처리 분야 ····· 92

제 7 장 활용방안 ····· 94

제 8 장 연구개발비 집행내역 ····· 95

1 절 폐수 처리 분야 ····· 95
2 절 폐기물 처리 분야 ····· 96

제 9 장 참고문헌 ····· 97

1 절 폐수 처리 분야 ····· 97
2 절 폐기물 처리 분야 ····· 100

<표 차례>

[표 1] SBR반응기 운전형태 ····· 11
[표 2] 영향인자 도출 실험조건 ····· 12
[표 3] SBR운전 인자 ····· 14
[표 4] 유입수 농도 범위 ····· 14
[표 5] 반응조건별 염분농도에 따른 유기물 제거율 ····· 16
[표 6] 반응조건별 염분농도에 따른 질소 제거율 ····· 19
[표 7] 네트워크실행 평가를 위한 실험매개 변수와 실행순서 ····· 31
[표 8] Training parameter 및 Run order 와 R의 관계 ····· 32
[표 9] 네트워크 연습 및 실험중의 상관계수 R값 ····· 32
[표 10] 안정화 단계 동안 운전 조건 ····· 35
[표 11] 배출시설의 분류 ····· 39
[표 12] 수산물 판매시설 (41개소) ····· 39
[표 13] 수산물 가공시설 (842개소) ····· 41
[표 14] 연안지역 수산물 판매시설 (34개소) ····· 42
[표 15] 연안지역 수산물 판매시설 수질현황 (17개소) ····· 43
[표 16] J활어직판장 공정별 처리효율 ····· 47
[표 17] 축산폐수 공공처리시설 처리공정 ····· 51
[표 18] 위판장의 어류내장 발생량 ····· 62
[표 19] 전국 년도별 주요 위판어종 ····· 63
[표 20] 년도별 주요 위판어종과 위판량 ····· 64
[표 21] 군산시 주요 어종 판매량 ····· 65
[표 22] 전국 위판장 월별 어류 위판량(99~03년) ····· 66
[표 23] 혐기성 생분해를 위한 배지 특성 ····· 74
[표 24] 어류 내장의 속도상수(k)와 최대 메탄수율l ····· 79
[표 25] 음식물 쓰레기의 평균 화학적 조성 ····· 79
[표 26] 소화조의 화학적 특성 ····· 89

<그림 차례>

[그림 1] 탈소각에 따른 대응기술(박상우, 2005) ····· 8
[그림 2] Schematic diagram of experimental unit ····· 9
[그림 3] SBR반응기 ····· 10
[그림 4] SBR개략도 ····· 12
[그림 5] SBR개략도 ····· 13
[그림 6] SBR운전모습 ····· 14
[그림 7] 염분농도별 유출수내 유기물농도변화 ····· 16
[그림 8] 염분농도별 유출수내 NH_4^+-N농도 변화 ····· 17
[그림 9] 염분농도별 유출수내 NO_3^--N농도 변화 ····· 18
[그림 10] 염분농도별 유출수내 NO_2^--N농도 변화 ····· 18
[그림 11] 반응조건별 염분농도에 따른 질소제거율 ····· 19
[그림 12] 염분농도별 MLSS농도 변화 ····· 20
[그림 13] C조건 1cycle동안 질소성분의 거동 ····· 20
[그림 14] C조건 1cycle동안 유기물의 거동 ····· 21
[그림 15] C조건 1cycle동안 알칼리도의 거동 ····· 22
[그림 16] C조건 1cycle동안 DO의 거동 ····· 22
[그림 17] 위판장 실폐수의 유기물 농도변화 ····· 23
[그림 18] 위판장 실폐수의 질소농도 변화 ····· 24
[그림 19] 미생물농도에 따른 유기물과 질소제거율 ····· 25
[그림 20] 운전기간별 실폐수와 인공폐수에 따른 F/M 비 추이 ····· 25
[그림 21] 실폐수와 인공폐수의 F/M 비에 따른 유출수 농도 추이 ····· 26
[그림 22] 실폐수와 인공폐수의 F/M 비에 따른 제거율 추이 ····· 26
[그림 23] 운전기간별 실폐수와 인공폐수에 따른 질소부하 추이 ····· 27
[그림 24] 실폐수와 인공폐수의 질소부하에 따른 유출수 농도 추이 ····· 28
[그림 25] 실폐수와 인공폐수의 질소부하에 따른 제거율 추이 ····· 28
[그림 26] 네트워크 훈련 중 ANN모델의 예측 능력 ····· 33
[그림 27] 네트워크 실험 중 ANN모델의 예측 능력 ····· 34
[그림 28] 모델인자에 대한 민감도 분석 ····· 35
[그림 29] 요인분석 실험시 SBR 반응기에서의 COD 제거율 ····· 36
[그림 30] 요인분석 실험시 SBR 반응기에서의 총 질소 제거율 ····· 37
[그림 31] 요인분석 실험시 SBR 반응기에서의 MLVSS 농도 ····· 37
[그림 32] 응답 변수에 대해 높은 영향력의 순위를 나타낸 Pereto 그래프 ····· 38
[그림 33] U시 J활어직판장 판매공정도 ····· 46
[그림 34] U시 J활어직판장 폐수처리 계통도 ····· 47
[그림 35] 동해시 활어직판장 폐수처리 계통도 ····· 48
[그림 36] 속초시 활어직판장 폐수처리 계통도 ····· 49
[그림 37] 고성군 활어직판장 폐수처리 계통도 ····· 50

[그림 38] 위판장 폐수처리를 위한 SBR 처리공정 계통도 ····· 51
[그림 39] 운전기간별 COD_{OH} 추이 ····· 52
[그림 40] 운전기간별 COD_{Cr} 추이 ····· 52
[그림 41] 운전기간별 BOD_5 추이 ····· 53
[그림 42] F/M 조건별 BOD_5 유출수 농도 추이 ····· 54
[그림 43] F/M 조건별 BOD_5 제거율 추이 ····· 54
[그림 44] BOD_5 용적부하별 BOD_5 제거율 추이 ····· 55
[그림 45] 운전기간별 NH_4^+-N 추이 ····· 56
[그림 46] 운전기간별 NO_3^--N 추이 ····· 56
[그림 47] 운전기간별 T-N 추이 ····· 57
[그림 48] C/N 비별 T-N 제거율 추이 ····· 58
[그림 49] 운전기간별 T-P 추이 ····· 59
[그림 50] 운전기간별 Cl^- 추이 ····· 60
[그림 51] 운전기간별 미생물 농도 추이 ····· 60
[그림 52] 전국 주요 위판 어종의 상대적 분포 ····· 63
[그림 53] 연도별 어류 위판량 변화 ····· 64
[그림 54] 전국 월별 어류 위판량 변화(99~03년) ····· 66
[그림 55] 군산시 월별 어류 위판량 비교 ····· 67
[그림 56] 메탄 축적량(ml CH_4/g VS) ····· 76
[그림 57] 메탄 축적량(ml CH_4/g VS) ····· 76
[그림 58] 메탄 축적량(ml CH_4/g VS) ····· 76
[그림 59] 메탄 축적량(ml CH_4/g VS) ····· 77
[그림 60] 메탄 축적량(ml CH_4/g VS) ····· 77
[그림 61] 메탄 축적량(ml CH_4/g VS) ····· 77
[그림 62] 고등어에 의한 속도상수(k) ····· 78
[그림 63] 갈치에 의한 속도상수(k) ····· 78
[그림 64] 내장에 의한 속도상수(k) ····· 78
[그림 65] 어류내장의 탄화에 따른 Yields(400, 500, 600 and 700℃ for 5min with inert N_2 gas) ····· 80
[그림 66] 어류내장의 탄화에 따른 Yields(400, 500, 600 and 700℃ for 10min with inert N_2 gas) ····· 80
[그림 67] 어류내장의 탄화에 따른 Yields(400, 500, 600 and 700℃ for 15min with inert N_2 gas) ····· 80
[그림 68] 어류내장의 탄화에 따른 Yields(400, 500, 600 and 700℃ for 30min with inert N_2 gas) ····· 81
[그림 69] 어류내장의 탄화에 따른 Yields(400, 500, 600 and 700℃ for 45min with inert N_2 gas) ····· 81
[그림 70] 어류내장의 탄화에 따른 Yields(400, 500, 600 and 700℃ for 60min with inert N_2 gas) ····· 81

[그림 71] 고등어의 탄화에 따른 Yields(400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 ga) ····· 82
[그림 72] 갈치의 탄화에 따른 Yields(400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas) ····· 82
[그림 73] 조기의 탄화에 따른 Yields(400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas) ····· 83
[그림 74] 내장의 탄화에 따른 Yields(400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas) ····· 83
[그림 75] 혼합물의 탄화에 따른 Yields(400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas) ····· 83
[그림 76] 내장의 탄화에 따른 Yields(5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400℃ with inert N_2 gas) ····· 84
[그림 77] 내장의 탄화에 따른 Yields(5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 500℃ with inert N_2 gas) ····· 84
[그림 78] 내장의 탄화에 따른 Yields(5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 600℃ with inert N_2 gas) ····· 84
[그림 79] 내장의 탄화에 따른 Yields(5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 700℃ with inert N_2 gas) ····· 85
[그림 80] 고등어의 탄화에 따른 Yields(5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas) ····· 85
[그림 81] 갈치의 탄화에 따른 Yields(5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas) ····· 86
[그림 82] 조기의 탄화에 따른 Yields(5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas) ····· 86
[그림 83] 내장의 탄화에 따른 Yields(5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas) ····· 86
[그림 84] 혼합물의 탄화에 따른 Yields(5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas) ····· 87
[그림 85] B-2와 B-3 반응기의 유입 및 유출수의 COD 변화 ····· 89
[그림 86] A-2와 A-3 반응기의 유입 및 유출수의 COD 변화 ····· 89
[그림 87] B-1 반응기의 유입 및 유출수의 COD 변화 ····· 90
[그림 88] 운전기간에 따른 각 반응기에서 COD 제거 효율 변화 ····· 90

제 1 장 연구개발목표 및 평가의 착안점

제 1 절 폐수 처리 분야

1. 연구개발 목표

본 연구는 수산물 위판장 폐수의 적정 처리 기술을 개발하여 수산물 위판장의 설치 및 운영으로 인한 해양 및 육상 환경오염 유발 요인을 최소화하는데 그 연구의 최종 목표를 둔다.

2. 평가의 착안점

구 분	평가의 착안점 및 척도	
	착 안 사 항	척 도 (점수)*
1차년도 (2004년)	○ 조사된 위판장 폐수 특성은 재현성과 대표성을 지니고 있는가? ○ 위판장 폐수 처리시설의 설계인자가 확보되었는가?	40 60
2차년도 (2005년)	○ 폐수처리 장치의 최적화조건이 확보되었는가? ○ 처리시설 활용에 대한 매뉴얼이 작성되었는가?	70 30
최종평가	○ 경제적인 폐수처리 기술이 개발되었는가?	100

제 2 절 폐기물 처리 분야

1. 연구개발 목표

가. 수산물 위판장에서 배출되는 폐기물의 발생량 및 발생 특성 파악.
나. 수산물 위판장에서 배출되는 유기성 폐기물에 대한 Dry Fermentation 적용 가능성 검토.

2. 평가의 착안점

구 분	평가의 착안점 및 척도	
	착 안 사 항	척 도 (점수)*
1차년도 (2004년)	○ 위판장에서 발생되는 폐기물의 특성파악에 있어서 연구방법의 합리성 및 결과의 명확성 ○ 유기성 폐기물의 메탄화를 이용한 안정화 공법을 개발하기 위한 실험실 규모 실험의 합리성	50 50
2차년도 (2005년)	○ 설계 및 운전인자 도출의 합리성 ○ 대안제시 및 경제성 분석의 합리성	50 50
최종평가	○ 연구방법의 합리성 ○ 연구의 실용화 가능성 ○ 대안제시 및 경제성 분석의 타당성	40 30 30

제 2 장 연구개발 목표의 달성도

제 1 절 폐수 처리 분야

1. 연구개발 목표의 달성도

가. 수산물 위판장 폐수 처리기술의 설계 및 운전 인자 연구(1차 년도)

(1) 폐수특성조사

일본의 자료 및 실제 위판장 폐수를 활용하여 특성을 파악하였다.

(2) SBR 반응기를 이용한 설계인자 연구

위판장 조제수 폐수와 실폐수를 활용하여 염분농도, C/N, 혐기/무산소/호기조건 등에 대하여 실험적으로 설계인자를 검토하였다.

나. 위판장 폐수 처리의 실용화 연구(2차 년도)

(1) 수산물 위판장 폐수처리 공정의 최적화

1 차년도의 염분농도, C/N비, 혐기/무산소/혐기 시간에 따른 실험결과를 활용하여 다양한 조건에서 SBR을 이용한 위판장 폐수처리에 적용가능한 신경망회로 모델을 개발하였다. 또한, 요인분석 실험을 이용하여 염분농도, C/N비, 혐기/무산소/혐기 시간에 따른 영향을 정량화 하였다.

(2) SBR 공법과 연계 가능한 물리화학적 전후처리 검토

국립환경연구원의 위판장 폐수처리 시설 자료와 축산공동폐수처리 공정과 실험실 연구자료를 바탕으로 물리화학적 전후 처리공정 제안

(3) Bench Scale 반응기를 이용한 최적 처리방안 연구

30L 반응기 2기를 이용하여 최적처리 방안 도출

2. 상기 평가의 착안점에 따른 달성도에 대한 자체평가

구 분	착 안 사 항	척 도 (점수)*
1차년도 (2004년)	○ 조사된 위판장 폐수 특성은 재현성과 대표성을 지니고 있는가?	40
	○ 위판장 폐수 처리시설의 설계인자가 확보되었는가?	60
2차년도 (2005년)	○ 폐수처리 장치의 최적화조건이 확보되었는가?	70
	○ 처리시설 활용에 대한 매뉴얼이 작성되었는가?	20
최종평가	○ 경제적인 폐수처리 기술이 개발되었는가?	95

제 2 절 폐기물 처리 분야

1. 연구개발 목표의 달성도

가. 폐기물 발생특성 조사

수산물 위판장에서 발생되는 폐기물의 양과 발생특성을 알기 위하여 군산시 해망동 소재 수산물 위판장을 대상으로 조사를 실시하였다. 조사 결과 수산물 위판은 선어상태로 펜스채 그대로 거래되기 때문에 위판에 따른 폐기물의 발생은 없었다. 폐기물의 발생은 위판장에 인접해 있는 어판장에서 활어나 선어 판매에서 손질과정에서 발생되는 내장, 지느러미, 뼈, 머리 등 이었고 건어물 판매장에서도 내장 등이 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 어판장에서 발생되는 수산계 폐기물의 발생량과 발생특성을 조사하기 위하여 군산과 부안 어판장을 대상으로 폐기물 발생량과 발생특성을 조사하였다. 또한 실측조사 외에도 발생특성 조사를 위하여 어판장에 있는 수산물 판매장을 중심으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 응답비율이 너무 낮아 설문지를 들고 조사원이 직접 방문하여 개별 인터뷰를 실시하여 조사하였다.

나. 처리도 실험

수산물의 판매를 위하여 손질과정에서 발생되는 내장, 지느러미, 뼈, 머리 등의 어류 폐기물에 대하여 회분식 혐기성 생분해도 실험을 통하여 메탄화 공정인 Dry Fermentation의 적용 가능성을 평가하였다. 또한 실제 Dry Fermenter를 이용해 이러한 폐기물의 처리시 가장 중요한 운전 인자중의 하나인 적정 상향유속에 대한 평가를 위하여 반응조 bed층의 유동화가 반응조 운전효율에 미치는 영향을 실험실 규모 반응조를 이용하여 평가하였다. 그리고 이러한 생물학적 혐기성 메탄화 공정이 아닌 다른 유기성 폐기물 처리공정의 적용 가능성 검토와 혐기성 메탄화 공정과의 비교를 위하여 탄화공정을 적용하여 실험을 실시하였다.

2. 상기 평가의 착안점에 따른 달성도에 대한 자체평가

구 분	착 안 사 항	척 도 (점수)*
1차년도 (2004년)	○ 위판장에서 발생되는 폐기물의 특성 파악에 있어서 연구방법의 합리성 및 결과의 명확성 ○ 유기성 폐기물의 메탄화를 이용한 안정화 공법을 개발하기 위한 실험실 규모 실험의 합리성	50 50

제 3 장 계획대비 진도표

제 1 절 폐수 처리 분야

구 분 / 개발내용	연 구 개 발 기 간(월차별)												진도 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
수산물 위판장 폐수 처리기술의 설계 및 운전 인자 연구													100%
수산물 위판장 폐수 처리 기술의 실용화 연구													100%
총진도율													100%

○ 당초계획은 ·····, 진도는 ———— 표시

제 2 절 폐기물 처리 분야

구 분 / 개발내용	연 구 개 발 기 간(월차별)												진도 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
폐기물의 발생량 및발생특성 파악													100%
수산계 폐기물에 대한Dryermentation 기법 적용 가능성 평가													100%
총진도율													100%

○ 당초계획은 ·····, 진도는 ———— 표시

○ 진도설명

- 폐기물의 발생량 및 발생특성 파악은 전북 군산시 어판장에 대하여 자료 및 실측조사를 실시하고 상인들을 대상으로 설문조사를 실시하였다.
- 수산계 폐기물에 대한 Dry Fermentation 기법 적용 가능성 평가를 위하여 먼저 Serum Bottle을 이용한 BMP test를 통하여 적용 가능성을 평가였다. 또한 실험실 규모 혐기성 반응조를 제작하여 운전 mode 정립을 위한 기초실험을 실시하였다.
- 다른 처리공정과의 비교를 위하여 수산계 폐기물 처리를 위한 탄화공정 적용을 위하여 적용 가능성을 평가하였다.

제 4 장 연구수행 방법

제 1 절 폐수 처리 분야

1. 1차 년도: 수산물 위판장 폐수처리 기술의 설계 및 운전 인자 연구

가. 폐수 특성 조사
설문조사, 문헌조사 및 직접 측정 자료를 통하여 위판장의 폐수 발생량 및 특성 조사

나. SBR 반응기를 이용한 설계 인자 연구
실험실 규모의 반응기 인공 및 실제 폐수를 사용하여 실험

2. 2차 년도: 수산물 위판장 폐수처리 기술의 실용화 연구

가. 수산물 위판장 폐수처리 공정의 최적화
위판장 폐수처리를 예측을 위한 SBR용 ANN(Artificial Neuron Network)모델을 개발과 요인분석 실험(Full factorial design)을 통해 최적조건 조사

나. SBR 공법과 연계 가능한 물리화학적 전후처리 검토
기존 위판장 및 축산폐수 공동처리시설의 공정과 폐수특성을 종합검토

다. Bench Scale 반응기를 이용한 최적 처리방안 연구
Bench Scale 실험으로 최적처리 방안 도출 및 처리공정 제시

제 2 절 폐기물 처리 분야

1. 폐기물 발생량 및 발생특성 파악

수산계 폐기물 발생량 조사는 문헌조사와 현장조사를 병행하였다. 현장조사는 군산시 소재 위판장을 대상으로 실시하였다. 또한 발생특성 파악을 위해서 설문조사를 실시하였다.

2. Dry Fermentation 적용 가능성 평가

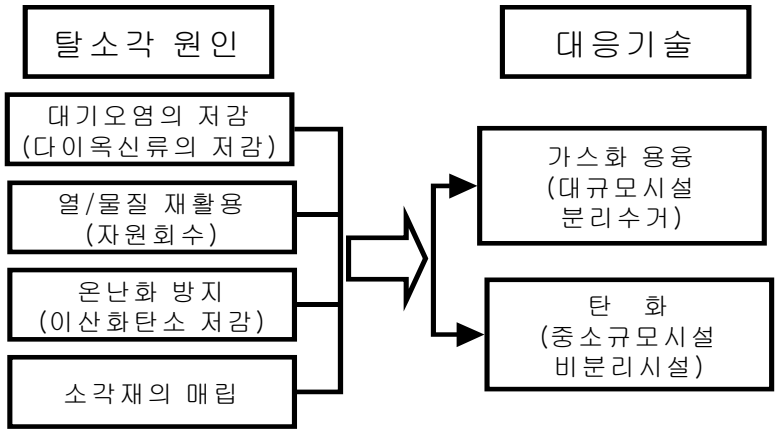
유기성 폐기물로부터 에너지를 생산할 수 있는 시스템으로서 메탄발효에 관심이 고조되면서 짧은 시간내에 메탄생성속도 및 메탄 수율을 측정하고자 기질의 열역학적 전처리에 의한 발효속도의 가속화 및 생분해도 연구가 Gossett et al(1975)과 Chynoweth(1978)에 의해 진행되었으며 그 후로 모든 폐기물의 혐기성 생분해도 평가가 가능하게 되었다. 유기성 폐기물의 생분해도라 함은 어떤 물질의 생물학적으로 분해 가능한 정도를 나타내며 생물학적 폐기물 처리시스

템을 설계하는데 가장 중요한 인자로 고려되고 있다. 유기성 폐기물에 대한 혐기성 소화공정의 개발에 있어서 폐기물의 분해특성을 완전히 이해하는 것은 공정의 합리적인 설계와 소화조 운전을 하기 쉽게 하기 위하여 필수적인 것이며(Peres et al., 1991; Owens & Chynoweth, 1992) 유기성 물질의 메탄전환 수율의 최적화를 가능하게 할 것이다. 위판장에서 생선 손질시 발생되는 폐기물의 혐기성 분해처리 가능성 평가를 위한 실험은 Serum Bottle을 이용한 BMP test(Owen et al., 1979)를 실시하였다. 실험은 500mL serum bottle에 혐기성 슬러지 100mL를 넣고 여기에 위판장에서 배출되는 어류폐기물을 각각 50mL, 100mL, 150mL 주입하여 실험하였다. 주입방법은 Terry and Wolin(1974)의 방법에 따라 질소가스를 치환시키면서 500mL serum bottle에 정해진 량을 넣은 후 butyl rubber마개와 알루미늄 캡을 이용하여 이중으로 봉하였다. 특히 알루미늄 캡은 스테인레스 밴드로 고정하였다. 모든 실험은 duplicate로 행하여 결과의 재현성을 검토하였으며 반응이 진행되는 동안 시료와 미생물간의 접촉효율을 향상시키기 위하여 serum bottle은 120RPM 으로 운전되는 진탕기(Jeio Tech, SK760M)에 고정시켜 35℃로 유지되는 항온실에서 실험을 수행하였다. 식종 슬러지는 하수처리장 소화슬러지를 사용하였으며 완충용액은 Dolfing and Bloemen(1985)이 사용한 방법에 따라 증류수를 끓여서 용존산소를 제거한 후 질소가스를 불어 넣으면서 항온실 온도까지 식혀서 KH_2PO_4 0.3 g/L, $KHPO_4$ 0.4 g/L, NH_4Cl 0.5 g/L, $NaHCO_3$ 10g/L로 조제하여 사용하였다. Hungate(1969)에 의해 개발된 혐기성 박테리아의 배양방법을 이용한 활성도(Valcke and Verstraetr, 1983) 측정방법에 의해 메탄생성 박테리아의 활성을 가스 생성속도로 평가하였다. 즉, 혐기성 분해에 의한 유기물의 메탄가스 전환율을 파악하기 위하여 일정시간 간격으로 가스 생성량을 측정하였다. 가스 생성량 측정은 주사기와 Manometer를 이용하였다. 가스가 발생하게 되면 일정한 액면을 유지하고 있던 Manometer 내의 액이 압력차로 인하여 액면차가 발생하게 되므로 주사기를 이용 최초 일정한 액면 상태까지 생성된 가스를 제거시키는 방법(정병곤, 1995)을 이용하였다. 가스 내 메탄 함량은 적외선 가스분석기(Geotechnical Instrument, GA-94A)를 사용하여 측정하였다. 생분해도 평가를 위하여 시료의 pH는 pH meter를 사용하여 측정하였고, TS(Total Solids), VS(Volatile Solids)는 Standard Methods(APHA, AWWA, WPCF, 1996)에 준하여 실험하였으며 원소분석은 원소분석기(Elemental Analyzer, Profile HV-3)을 이용하여 분석하였다.

3. 탄화실험

본 연구에서 사용한 메탄화 기술에 대한 비교 실험으로 비 생물학적 방법 중 탄화기술에 대하여 검토하였다. 어류 폐기물의 처리에 적용할 수 있는 비 생물학적 방법으로는 매립, 소각 등이 있다. 소각방식은 매립방식에 비해 보다 효율적이고 유기성 폐기물의 감량에 효과적이기는 하나 소각방식에서 배출되는 다이옥신류는 주위에 심각한 문제를 야기할 수 있다.(황상순, 2003) 탄화는 원래 목탄화 기술을 폐기물 처리에 적용한 기술로서 최종 생성물을 매립 처분하여야 하는 문제점을 개선하기 위해 연구되어온 기술이다(本多裕姬, 2001). 지금까지 폐기물의 열적처리는 대부분 소각처리 방식을 이용하고 있다. 그러나 최근 소각로에서의 다이옥신 발생이 큰 사회적 문제가 되어 폐기물의 소각이 제한되어 있는 상황이고 최종 매립장으로의 투기 역시 해결책이 될 수 없다. 따라서 [그림 1]에 나타내어 놓은 바와 같이 무산소 상태에서 열분해방식을 채택하는 탄화기술이 주목을 받고 있다. 탄화란 무산소 상태(단, 폐기물 공급 및 자체

산소 함유량으로 인해 산소농도가 2~4%정도의 저산소 분위기가 형성됨)에서 외부 가열원에 의한 간접가열로 환원반응에 의해 열분해 되어 유기성분 중 탄소를 최종 생산물에 고정시키기 위해 진행되는 공정을 말하며 열분해공정이다(日本 環境省, 2004)



[그림 1] 탈소각에 따른 대응기술(박상우, 2005)

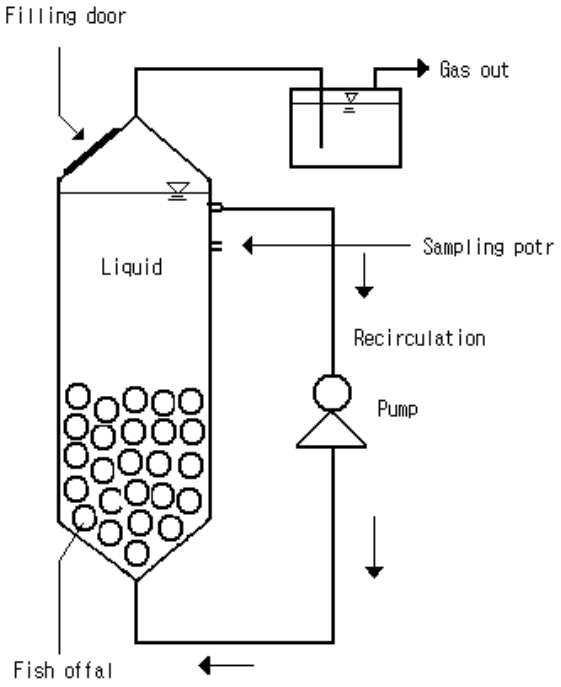
본 연구에서 탄화실험에 사용된 시료는 군산시 위판장에서 주로 판매되고 있는 어종인 고등어, 갈치, 조기를 손질하면서 나온 부산물과 이 부산물을 1:1:1로 혼합한 시료를 사용하였다. 각 시료의 함수율은 59.8~72.1%였다. 탄화조건은 Asheville NC USA사의 반응로(Model : Tube Furnace)를 이용하여 400℃, 500℃, 600℃, 700℃에서 탄화하였으며, 반응로 Tube는 석영관(내경 480mm, 길이 1200mm)을 사용하였다. 반응로의 온도상승은 1200℃까지 가능하며 온도제어장치는 실험수행조건에 따라 온도 및 지속시간을 인위적으로 설정할 수 있다. 탄화 스케줄은 목표 온도까지 승온 속도를 13℃/분으로 하여 목표온도에 도달한 후 5분, 10분, 15분, 30분, 45분, 60분 동안 탄화하는 방법으로 하였으며, 전 탄화공정에서 불활성기체인 질소가스를 인위적으로 200 cc/min으로 공급하였다.

4. Dry Fermenter를 이용한 실험실 규모 반응조 운전

위판장에서 배출되는 수산물 폐기물의 혐기성 소화실험에 사용된 실험실 규모 혐기성 반응조의 모식도는 [그림 2]와 같은 형태로 지름 6.4cm, 높이 1m로 아크릴 원통을 사용하여 제작하였다. 반응조 하부는 반송수에 의한 흐름을 균질하게 하기 위하여 깔대기 형으로 제작하였고 상부에는 고·액·기체 분리장치를 설치한 UASB 형태로 제작하였다. 반응조에는 위판장에서 생선 손질시 발생되는 내장이나 머리 등으로 구성된 발생 폐기물을 실험실로 가져와 가정용 믹서를 사용하여 분쇄한 후 Filling Door를 통하여 주입하였다. 이때 반응조내의 미생물과 폐기물의 접촉효율을 높이고 반응속도를 증가시키기 위하여 액체부분을 반송 Pump를 이용하여 내부 순환시켰다. 운전 온도차에 의한 오차를 방지하기 위해 일정온도 (35℃±0.5)의 항온실에 반응조를 설치하여 운전하였다. 또한 조류나 광합성 박테리아의 성장을 방지하기 위하여 반응조 투명 부분은 알루미늄 호일 등으로 감싸서 운전하였다.

반응조 운전을 위하여 도시하수 처리장 소화조로부터 가져온 소화 슬러지를 식종하고 위의 Serum bottle 실험에서 적용한 같은 부하를 적용하여 운전해본 결과 운전 초기에 가스 생성이

중지되는 운전 실패가 반복되어 그 원인을 추적해 본 결과 유기물 부하가 높은 상태 하에서 반송이 이루어지지 않았기 때문인 것으로 판단되어 상등액의 반송을 통한 슬러지 bed 층과 기질과의 혼합이 혐기성 반응조 전체 운전효율에 미치는 영향을 규명하기 위한 실험을 선행하였다. 이를 위하여 직경을 달리한 반응조를 각 3개씩 제작하여 유기물 부하를 달리하여 실험하여 반송이 소화조 운전에 미치는 영향을 규명하였다.



[그림 2] Schematic diagram of experimental unit

제 5 장 연구수행 내용 및 결과

제 1 절 폐수 처리 분야

1. 연구내용

가. 수산물 위판장 폐수처리 기술의 설계 및 운전 인자 연구(1차 년도)

(1) 수질특성 조사

전국 수산물 위판장에 대한 현황 및 수질특성조사

(2) SBR반응기를 이용한 설계인자 연구

실험은 [그림 3]과 같이 15L용량의 원통형 반응기 4기를 제작하여 사용하였다. 모든 기계작동은 컨트롤박스와 연결되어 있는 PC를 통하여 제어하였으며 비쥬얼 C^{++}로 제어프로그램을 코딩하여 사용하였다.

[그림 3] SBR반응기

3기의 반응기는 염분의 농도를 0.5%, 1.0%, 2.0%로 구분한 인공하수를 나머지 1기는 실폐수를 사용하여 운전하였다. 폭기는 산기장치를 이용하여 공기량은 2 L/min로 하였으며 비폭기시에는 슬러지의 교반만 실시하였다. 유출수는 1L씩 샘플링 될 수 있게 하였으며 항온실을 제작하여 23±5℃를 유지하였다. 운전은 [표 1]과 같이 4가지 조건으로 나누어 실험하였다.

[표 1] SBR반응기 운전형태

조건	COD/N	유입(L) 및 반응조건(시간)						
A	6	유입(3L)(3)		유입(1L)(1)				
		무산소(3)	호기(6)	무산소(6)	호기(3)	무산소(3)	호기(1)	침전및배출(2)
B	6	유입(4L)(2)						
		무산소(2)	호기(6)	침전및배출(2)	휴지기(간헐교반)(14)			
C	6	유입(4L)(2)						
		무산소(2)	호기(4)		무산소(4)		침전및배출(2)	
D	3	유입(4L)(2)						
		무산소(2)	호기(4)		무산소(4)		침전및배출(2)	

(): 시간

나. 수산물 위판장 폐수처리 기술의 실용화 연구(2차 년도)

(1) 수산물 위판장 폐수처리 공정의 최적화

1차 년도 실험결과를 인공신경망회로 모델에 적용하여 SBR의 예측모델 개발하였으며, 요인분석기법을 이용하여 염분농도, C/N비, 혐기/무산소/혐기 시간의 최적 조건을 파악하였다.

요인분석기법을 통한 최적조건 도출을 위한 실험방법은 다음과 같다. SBR을 이용하여 고농도 염분 폐수 내 유기물 및 영양염류의 효과적인 처리를 위해 몇몇 운전인자들을 선정하고 이들의 변화에 따른 처리효과를 확인하고자 하였다. 이를 위해 C/N 비와 폭기시간 그리고 염분농도 등을 주요 인자로 선정하였으며, 효과적인 결과도출을 위해 암모늄 이온과 인산염 이온 농도를 고정하고 염분농도, 유기물 농도 및 폭기시간을 달리한 10개 (2^3 full factorial design)의 유입수 및 운전 조건으로 실험을 진행하였다. 각 조건별 농도 범위는 [표 2]와 같으며, 4개의 조건씩 개별 반응기에서 실시하였다. 반응기는 1차년도 연구에 이용된 반응기를 활용하였으며, 운전 모습은 [그림 4]와 같다.

[표 2] 영향인자 도출 실험조건

단계	조건			COD (mg/L)	NH_4^+ (mgN/L)	PO_4^{-3} (mgP/L)	Alkalinity ($mgCaCO_3$/L)
	폭기시간 (hr)	염분농도 (%)	C/N				
1	4	0.5	2	100	50	5	357
		3	2	100	50	5	357
		0.5	6	300	50	5	357
		3	6	300	50	5	357
2	8	0.5	2	100	50	5	357
		3	2	100	50	5	357
		0.5	6	300	50	5	357
		3	6	300	50	5	357
3	6	1.75	4	200	50	5	357
		1.75	4	200	50	5	357

수질 분석은 유출수 또는 1주기 동안의 각 단계별 미생물 혼합액을 분취하여 실시하였다. TOC는 TOC(Shimazdu, TOC-V CPN), 인산 이온 및 암모늄 이온은 Spectrophotometer(HACH, DR-2000), 아질산 및 질산 이온은 Ion chromatograph (DIONEX, DX-80)를 이용하여 분석하였고, COD_{OH}, 알카리도와 미생물농도 분석은 수질공정시험법과 Standard methods(1998)를 따랐다. 반응기내의 pH는 pH meter(ORION, 420A)를 사용하였으며, 온도, ORP 및 DO 측정은 DO meter(ISTEK, 815PDC)를 이용하였다.

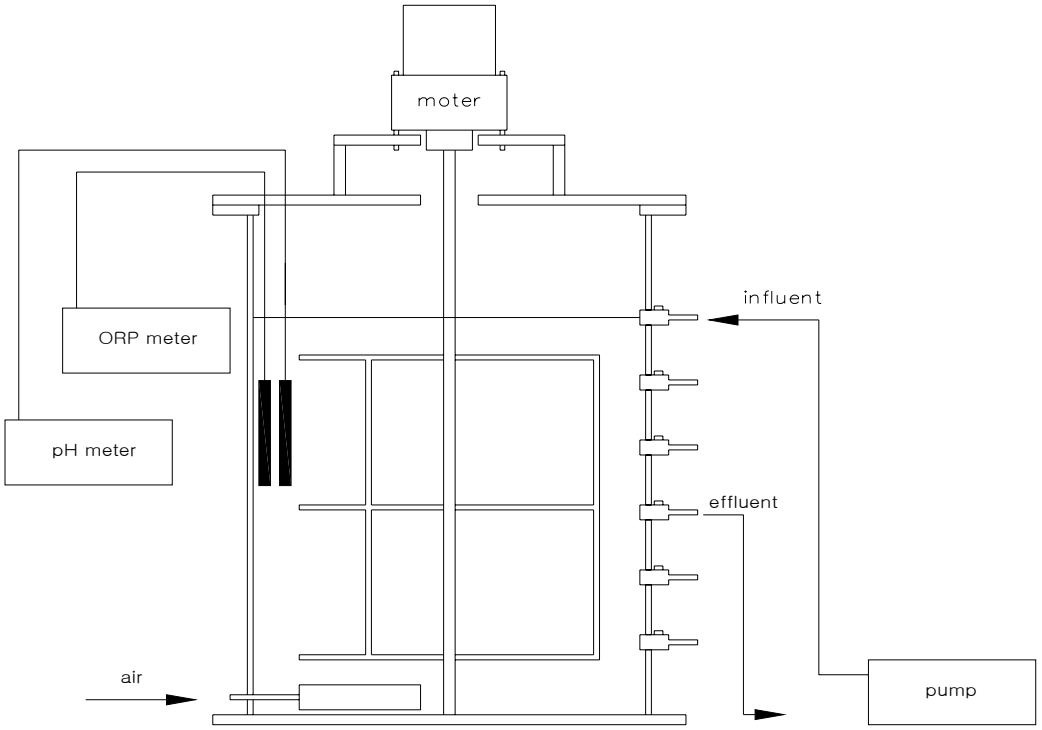
[그림 4] SBR 개략도

(2) SBR 공법과 연계 가능한 물리화학적 전후처리 검토

기존 소규모 처리시설의 공정 및 폐수특성 검토

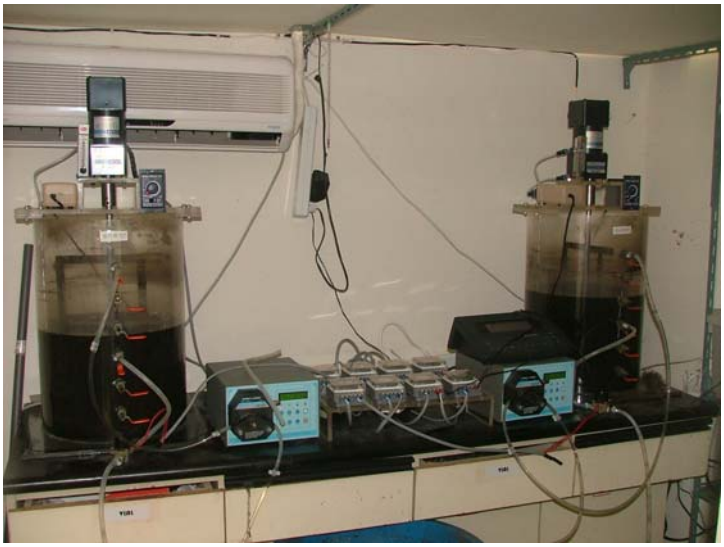
(3) Bench Scale 반응기를 이용한 최적 처리방안 연구

30L 반응기 2기([그림 5] 및 [그림 6])를 이용하여 Bench Scale 규모 연속실험을 실시하여, 최적처리 조건을 연구하였다.



[그림 5] SBR 개략도

반응기는 원통형의 투명 아크릴 재질로 제작되었으며 유효용적은 30L(340mm(W)×5000m(H))이며, 미생물과 유입기질의 효과적인 교반을 위해 반응조 상부로부터의 가변DC 모터와 프로펠러가 장착된 Stainless steel 축을 설치하였다. 그 밖에 호기조건 유지를 위한 공기펌프와 디퓨져, 시료 유입 및 배출 그리고 외부탄소원 유입을 위한 펌프 및 솔레노이드 밸브 등이 설치되어 있으며, 모든 장치들은 시간조절 장치에 연결하여 요구되는 반응시간에 맞춰 자동으로 작동시켰다. 운전조건은 [표 3]과 같다.



[그림 6] SBR 운전모습

[표 3] SBR 운전인자

운 전 조 건	적 용 범 위
유효 용적 (L)	30(340mm(W) × 5000m(H))
수리학적 체류시간 (hr)	12
미생물 체류시간 (days)	40
미생물 농도 (mgMLSS/L)	2,580 ~ 4,020
운전시간 (hr)	무산소 2/호기 4/무산소 4/침전배출 2
용존산소 농도 (mgDO/L)	폭기시 : 3.0 이상
	비폭기시 : 0.5 이하
폭기조 온도조건 (℃)	23 ~ 28
염분 농도($mgCl^-$/L)	3,520 ~ 11,266

실험에 이용된 B위판장 폐수의 항목별 농도 범위는 [표 4]와 같다.

[표 4] 유입수 농도 범위

항 목	단 위	농도 범위
BOD_5	mg/L	66.3 ~ 350.0
COD_{OH}	mg/L	30.4 ~ 178.0
NH_4^+-N	mg/L	32.7 ~ 52.2
NO_3^--N	mg/L	0.5 ~ 9.1
T-N	mg/L	36.0 ~ 65.5
PO_4^{3-}-P	mg/L	5.9 ~ 7.9
T-P	mg/L	7.2 ~ 9.6
Alkalinity	$mgCaCO_3$/L	289.0 ~ 600.0
SS	mg/L	26.8 ~ 395.1

2. 연구결과

가. 수산물 위판장 폐수처리 기술의 설계 및 운전 인자 연구(1차 년도)

(1) 위판장 폐수특성

환경부 자료를 이용하여 연안지역 수산물 판매시설(34개소) 중에서 BOD, COD, SS, 총인, 총질소 등 5개 수질항목의 유입, 유출 자료가 확보되는 17개소의 수질자료를 정리하였다. 유입수질은 BOD 90.0~4,680.0 mg/L, COD 33.0~2,500.0 mg/L, SS 91.0~3,572.0 mg/L, T-P 1.3~372.0 mg/L, T-N 23.0~350.0 mg/L 등의 수질을 보였다. 유출수질은 BOD 2.2~70.0 mg/L, COD 5.6~67.0 mg/L, SS 2.0~80.0 mg/L, T-P 0.1~18.0 mg/L, T-N 5.0~46.0 mg/L로 조사되었다. 따라서 폐수처리시설이 갖춰지지 않은 위판장 및 직판장 등에서 발생되는 오염물질들은 판매시설 주변 해수의 주요 오염원으로 작용할 것으로 예측되며, 발생량 규모에 따라 별도의 처리시설 설치 또는 하수 연계처리 등의 기준이 명확히 제시되어야 할 것으로 판단되었다.

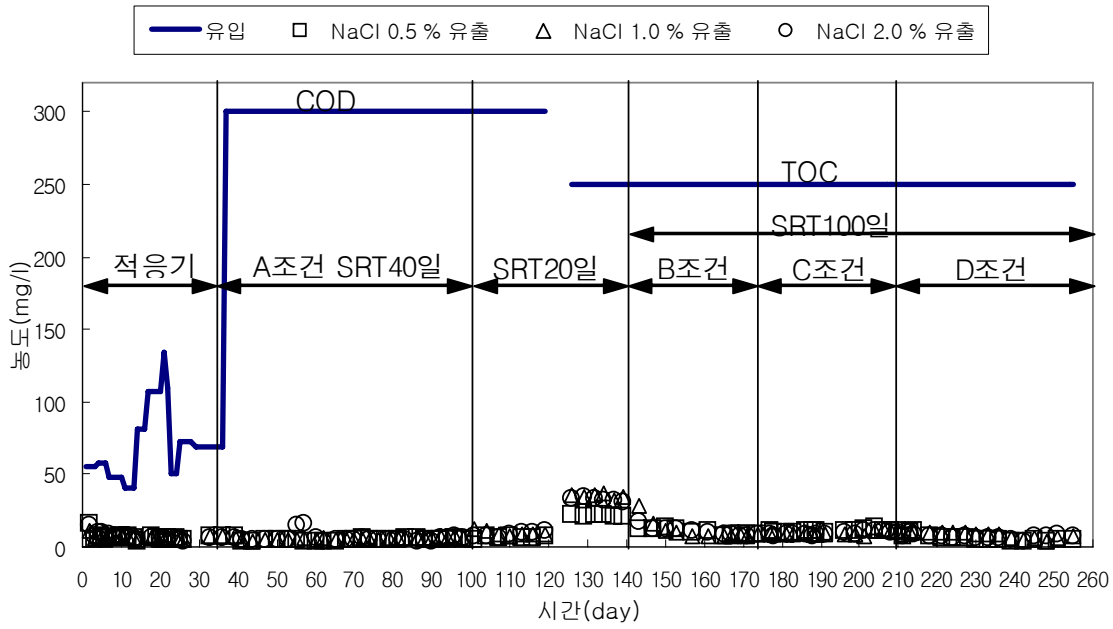
가동 중인 위판장 처리시설에 유입되는 유입수에 대한 성상 조사한 결과 COD는 60.0~386.7 mg/L, T-N은 37.7~102.0 mg/L, T-P는 8.8~24.1 mg/L, SS는 90.5~143.6 mg/L, Cl^-는 3.0~3.2%로 조사되었으며, 폐수를 입자크기별로 조사한 결과 suspended : colloid : dissolved가 COD_{Mn}의 경우 3 : 1.2 : 1, TKN의 경우 1.04 : 1 : 1로 나타났다.

(2) SBR 반응기를 이용한 설계 인자 연구

(가) SBR에서 염분농도가 유기물처리에 미치는 영향

염분농도 0.5, 1, 2% 조건에서 연속식 SBR을 이용한 실험실 연구의 유입 및 유출수의 유기물 농도는 [그림 7]와 같다. 반응기간은 35일간 적응기를 거쳐, 100일까지는 SRT 40일, 100일부터 135일까지는 SRT 20일로 운전하였다. 그 이후로 슬러지 인발없이 운전하여 SRT가 약 100일 내외로 측정되었다. 그림에서와 같이 SRT 20일로 하였을 경우를 제외하면 모든 운전조건에서 20mg/L이하의 낮은 농도를 나타내었다. SRT가 20일보다 큰 경우 염분에 의한 영향이 거의 없었으나 SRT 20일의 경우는 염분농도가 0.5%에서 1.0%로 높아질수록 영향도 크게 받는 것으로 나타났다.

SRT 20일의 경우 세 가지 염분농도 모두 유출수의 농도가 20 mg/L이하였으며, 염분농도 1.0%이상에서는 30 mg/l이상의 유출수 농도를 나타내었다.



[그림 7] 염분농도별 유출수내 유기물농도변화

[표 5]는 반응조건별 염분농도에 따른 유기물 제거율을 나타낸 것이다. C와 D조건에서 평균제거율이 최소 95%이상으로 최대와 최소값의 차이가 크지 않기 때문에 4가지 조건 중 유기물 처리에 가장 알맞은 반응조건임을 알 수 있었다. C조건과 D조건은 반응시간비는 동일하나 COD/N비를 6과 3으로 달리 한 것으로 무산소2시간/폭기4시간/무산소4시간/침전 및 유출 2시간의 시간비로 운전한 조건이다.

[표 5] 반응조건별 염분농도에 따른 유기물 제거율

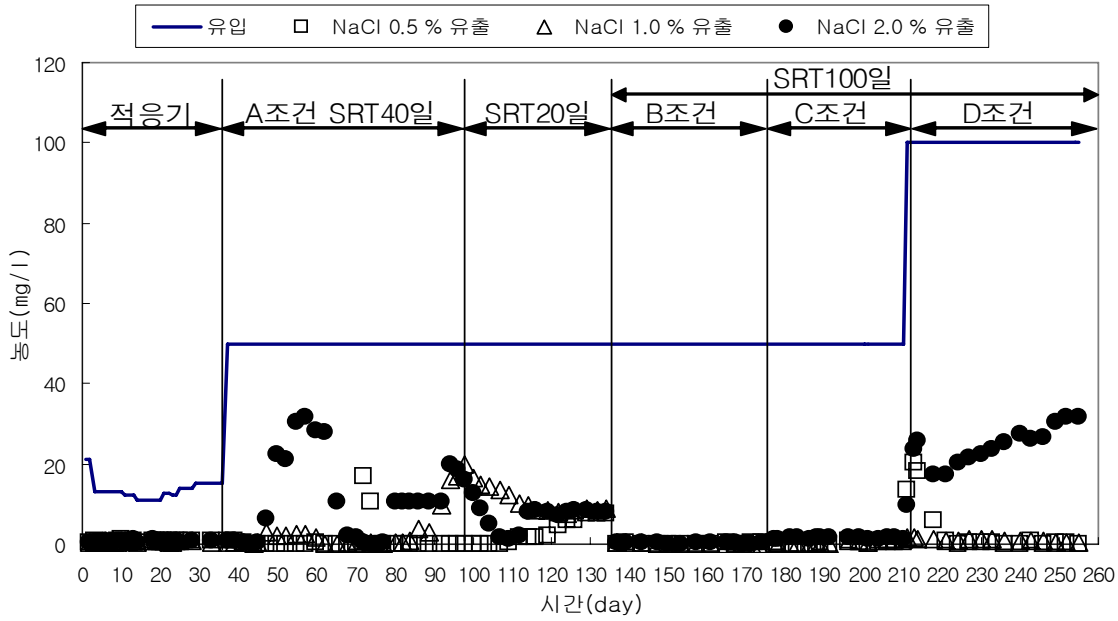
염분농도	NaCl 0.5% (유기물제거율)			NaCl 1.0% (유기물제거율)			NaCl 2.0% (유기물제거율)		
반응조건	최대 (%)	최소 (%)	평균 (%)	최대 (%)	최소 (%)	평균 (%)	최대 (%)	최소 (%)	평균 (%)
A조건	98.8	91.0	97.5	98.6	85.3	96.5	98.9	86.3	96.6
B조건	97.1	91.5	95.3	97.1	86.2	94.3	96.9	87.4	94.6
C조건	96.2	94.8	95.6	97.2	95.3	96.3	96.9	95.3	96.3
D조건	98.6	95.8	97.7	98.5	96.0	96.8	98.4	96.2	97.2

염분농도와 상관없이 4가지 반응조건 모두 평균 90%를 넘었으나 C, D조건으로 갈수록 최소값과 최대값이 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 C, D조건으로 갈수록 미생물의 염분 적응시간이 길어졌기 때문에 보다 안정적인 처리를 보인 것으로 사료된다.

(나) 연속식 SBR에서 염분농도가 질소처리에 미치는 영향

[그림 8]은 실험기간동안 반응기의 유출수내 NH_4^+-N농도의 변화를 나타낸 그래프이다. 염분농도가 2.0%일때 A조건과 D조건에서 질산화의 저해가 있는 것으로 나타났으며 SRT 20일의 경우 세 가지 염분농도 모두 유출수내 NH_4^+-N농도가 높아지는 것으로 나타났다. 이것은 SRT 20일로 반응할 경우 적절하지 못하다는 것을 나타내는 것이며 C조건

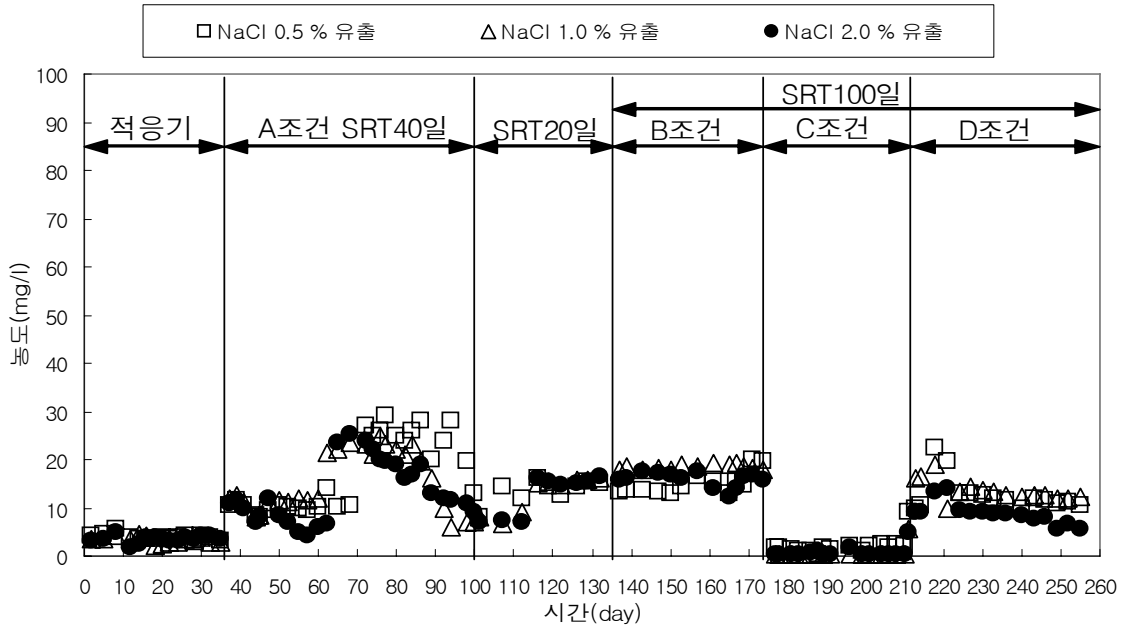
과 D조건에서의 차이는 COD/N비가 낮아져서 질소부하가 높아졌을 경우 염분농도 2.0%에서 질산화의 저해가 있는 것을 알 수 있었다. 질산화에 있어서 충분한 유기물과 질소농도비에서는 염분에 의한 저해가 나타나지 않았으나 유기물과 질소농도비가 낮은 조건에서는 염분농도가 2.0%일 때 저해가 나타났다.



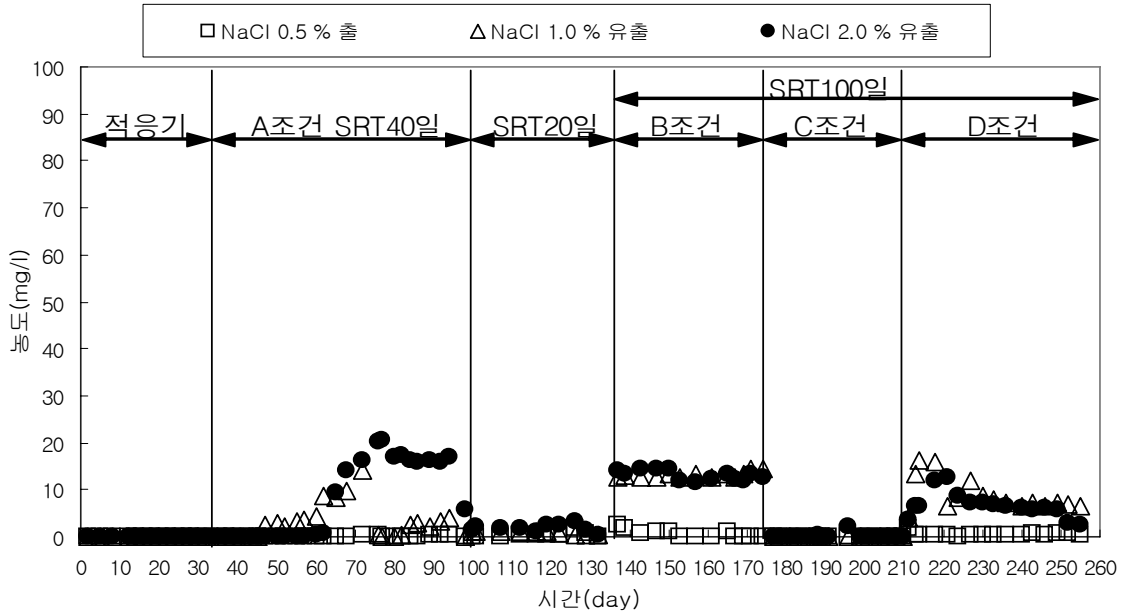
[그림 8] 염분농도별 유출수내 NH_4^+-N농도 변화

[그림 9]과 [그림 10]은 유출수내 NO_3^--N와 NO_2^--N의 농도변화를 나타낸 그래프이다. 두 개의 그래프에서 탈질이 가장 잘 일어나는 조건은 호기/무산소비가 4시간/6시간인 C조건임을 확인할 수 있다. 다른 조건에서는 탈질의 저해가 있었으나 C조건에서는 COD/N비가 6이여서, 호기/무산소시간의 비(4시간/6시간)가 실험조건에서 탈질에 필요한 유기물을 확보할 수 있었기 때문으로 사료된다.

C조건과 D조건을 비교해보면 COD/N비가 낮을 경우에 유기물 부족에 의해 탈질반응에 저해가 있음을 확인할 수 있다.



[그림 9] 염분농도별 유출수내 NO_3^--N농도 변화



[그림 10] 염분농도별 유출수내 NO_2^--N농도 변화

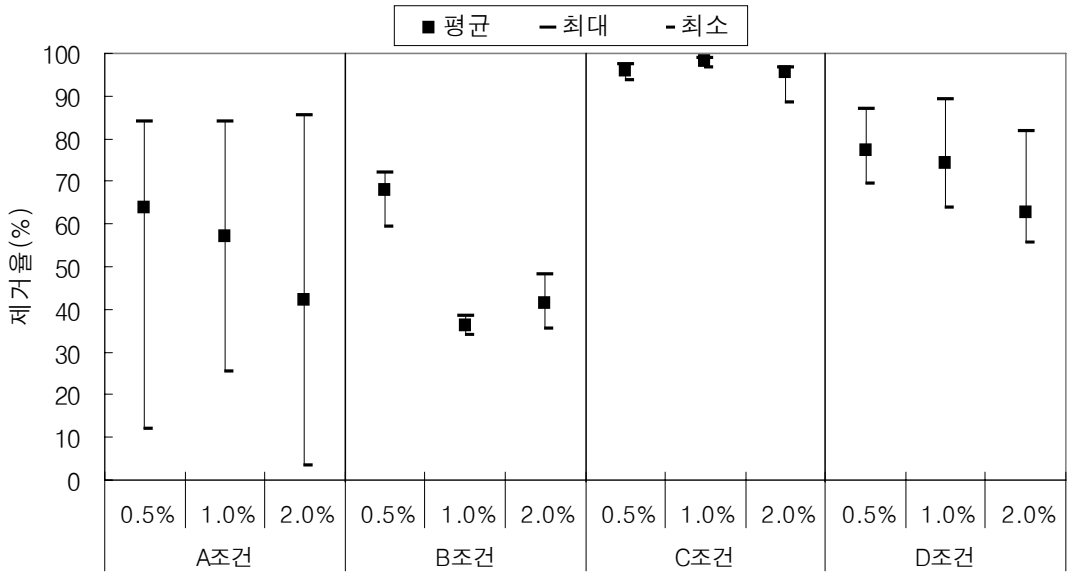
이상의 결과로부터 염분농도가 높을수록 질산화효율이 낮아지는 것을 확인할 수 있었고, COD/N의 비가 3인 D조건의 경우 염분농도 1.0%이상에서는 질산화가 크게 저해를 받는 것으로 나타나 Ahmet의 NaCl농도 1%미만에서는 NH_4^+의 제거에 저해를 받지 않고 1%를 넘어선 농도에서는 저해를 받는다는 결과와 일치하였다.

[표 6]과 [그림 11]는 반응조건별 염분농도에 따른 질소제거율을 나타낸 것이다. 평균값을 비교하면 COD/N비가 6인 C조건에서 질소제거율이 가장 좋게 나타났으며 COD/N비가 3인 D조건에서는 염분농도가 높아질수록 제거율이 점점 낮아지는 것으로 나타났다.

이는 질산화율과 동일하게 염분농도의 차이가 있어도 COD/N비가 높고 염분에 충분히 적응한 상태에서는 질소제거에 차이가 없다는 것이다. 그리고 염분에 충분히 적응된 반응기에서는 염분의 농도보다 COD/N비에 의한 제거율의 차이가 나타난다는 것을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

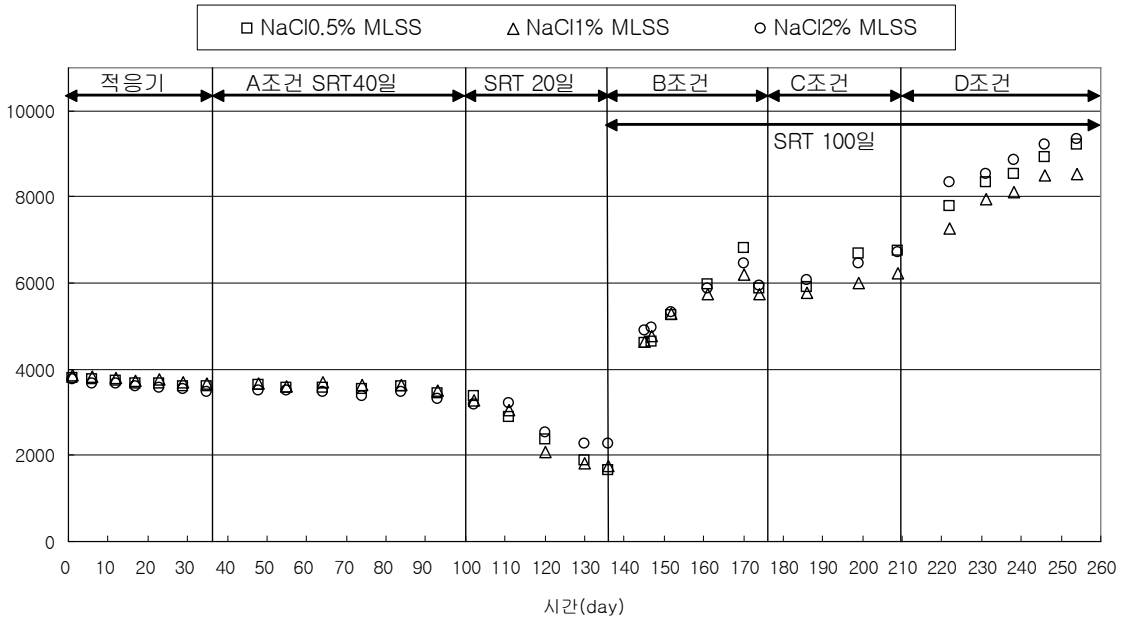
[표 6] 반응조건별 염분농도에 따른 질소 제거율

염분 농도	NaCl 0.5% (질소제거율)			NaCl 1.0% (질소제거율)			NaCl 2.0% (질소제거율)		
반응 조건	최대(%)	최소(%)	평균(%)	최대(%)	최소(%)	평균(%)	최대(%)	최소(%)	평균(%)
A조건	83.80	12.11	63.78	83.80	25.50	57.10	85.45	3.50	42.11
B조건	71.90	59.38	68.01	38.30	34.12	36.20	47.99	35.54	41.54
C조건	97.46	93.80	95.76	98.93	96.57	97.98	96.77	88.48	95.50
D조건	89.50	69.50	83.20	89.16	63.73	77.23	81.60	55.75	60.92



[그림 11] 반응조건별 염분농도에 따른 질소제거율

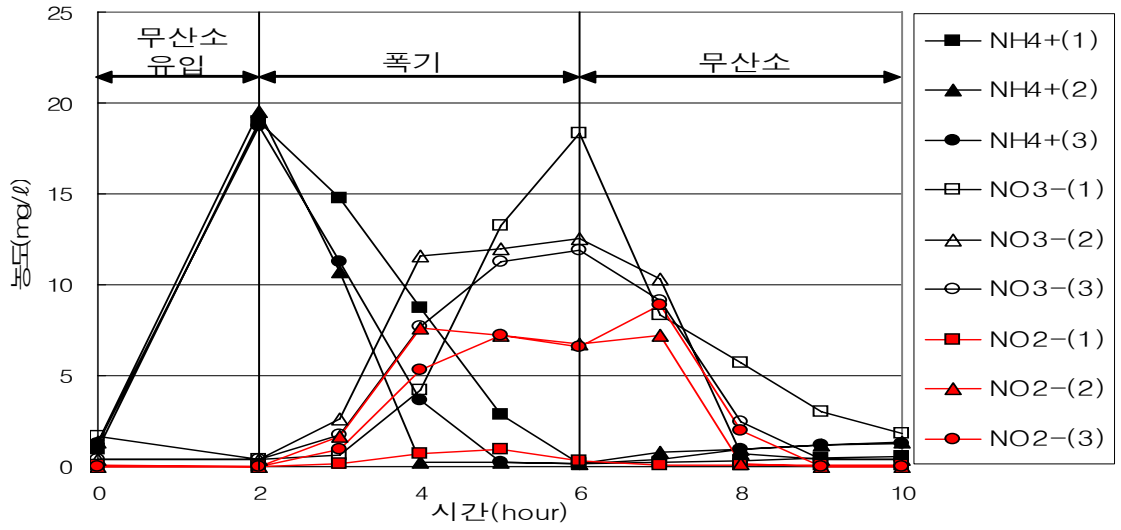
[그림 12]은 염분농도별 미생물농도의 변화에 대해 나타낸 그래프이다. SRT를 20일로 줄였을 경우 미생물의 성장보다는 유출이 더 많아지기 때문에 반응기내 미생물 농도가 줄어드는 것을 알 수 있었다. B조건에서 C조건으로 전환시 반응기의 오작동으로 인한 슬러지 유출이 있었기 때문에 농도가 떨어진 것이며 SBR의 특성상 미생물의 농도를 고농도로 유지하여도 처리효율에는 큰 저해가 없었다.



[그림 12] 염분농도별 MLSS농도 변화

(다) 경시변화 연구

인공하수를 이용한 연속식 SBR공정에서 처리효율이 가장 높은 C조건에 대하여 DO, 알칼리도, 유기물의 거동, 질소의 거동에 대하여 경시변화를 조사한 결과는 [그림 13]~[그림 16]와 같이 나타났다.

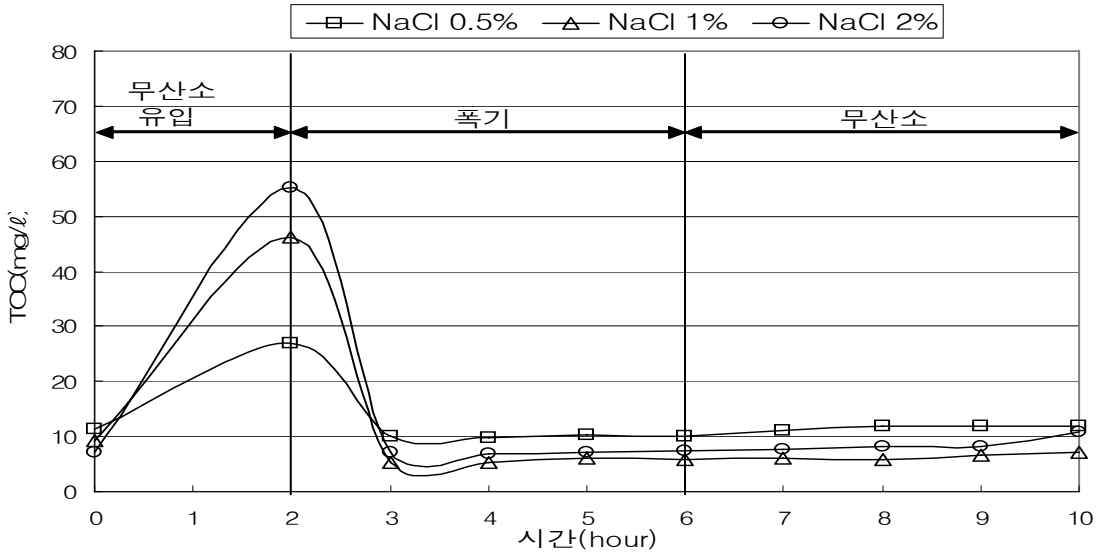


[그림 13] C조건 1cycle동안 질소성분의 거동
((1): NaCl 0.5%, (2): NaCl 1.0%, (3): NaCl 2.0%)

1cycle동안 질소성분의 거동에 대하여 트랙스터디를 한 결과 [그림 13]과 같이 나타났다. 2시간동안 무산소 상태에서 유입이 되었기 때문에 암모니아성 질소의 농도는 감소하지 않고 증가만 하였으며 아질산성질소와 질산성질소는 유입이 끝난 후 0에 가깝게 제거

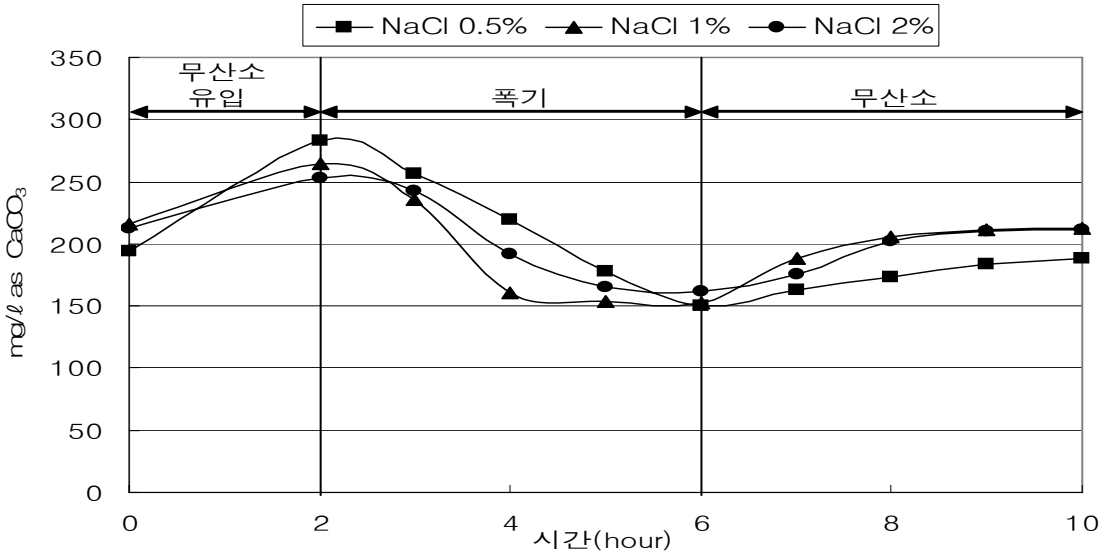
되었다. 이후 4시간의 폭기조건 동안 암모니아성 질소는 모두 제거되었으며 4시간의 무산소조건 동안 탈질반응이 일어났음을 확인할 수 있었다.

유기물성분의 거동에 대한 결과는 [그림 14]와 같이 나타났으며 유입 후 3시간 이후에 유기물성분이 대부분 제거되는 것을 확인 할 수 있었다. 마지막 무산소 조건에서의 탈질은 내생탈질에 의한 것임을 확인 할 수 있는 결과였으며 유기물에 대한 처리효율이 높은 것으로 나타났다.



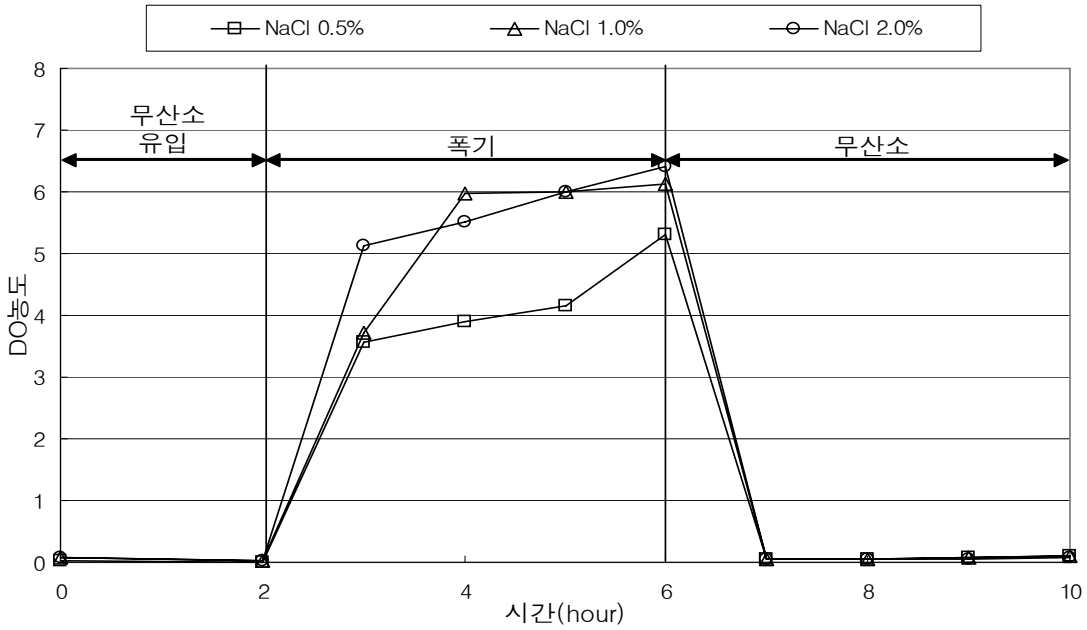
[그림 14] C조건 1cycle동안 유기물의 거동

[그림 15]은 1cycle동안 알칼리도 물질의 거동에 대하여 나타낸 그래프이다. 무산소 유입공정에서 알칼리도 물질의 유입으로 인해 농도가 증가하다가 폭기조건에서는 암모니아성질소의 질산화로 인한 알칼리도물질의 소모에 의해서 농도가 낮아졌다. 마지막 무산소 공정에서는 탈질반응으로 인한 알칼리도물질의 증가를 확인할 수 있었으며 질소거동에서 질산화와 탈질로 인한 질소농도의 변화와 유사한 결과를 나타내었다.



[그림 15] C조건 1cycle동안 알칼리도의 거동

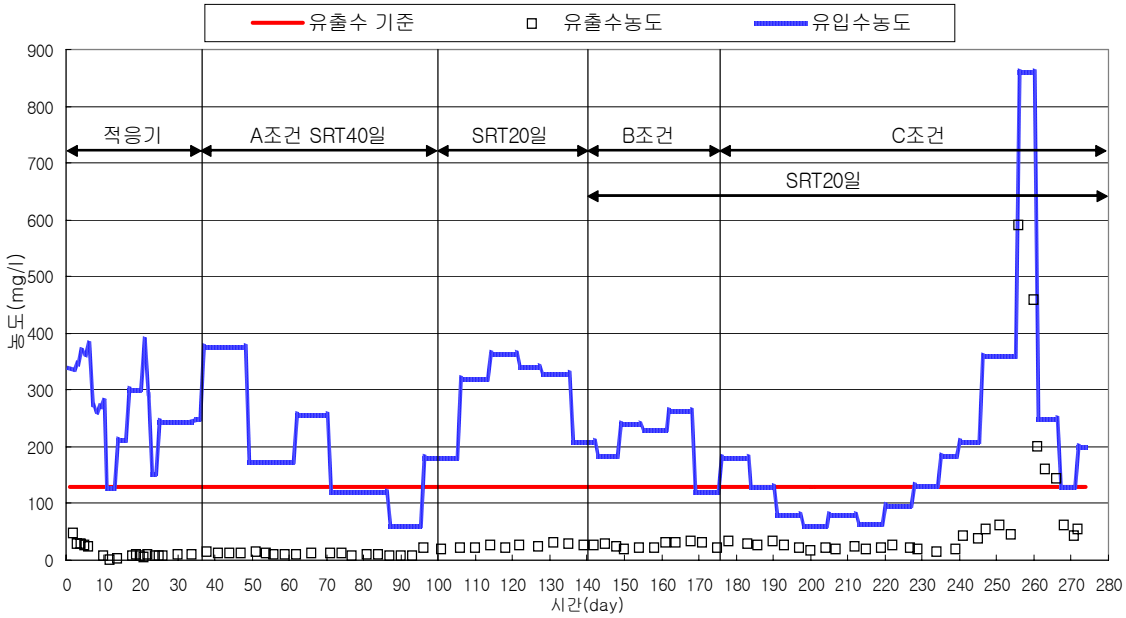
[그림 16]는 DO농도의 변화를 나타낸 것이며 DO농도에 의한 저해도를 배제하기 위해 폭기시간 동안 폭기량을 2 L/min으로 한 결과 DO농도가 3 mg/L이상으로 유지되었다. 무산소 조건에서는 DO농도가 0 mg/L수준을 유지하여 탈질반응시 저해요인이 없었던 것으로 판단되며 DO농도의 차이가 나타나는 것은 질산화반응시에는 산소를 소모하여 질산화속도의 차이 때문에 나타난 결과이다.



[그림 16] C조건 1cycle동안 DO의 거동

(라) 위판장 실폐수의 유기물 및 질소처리

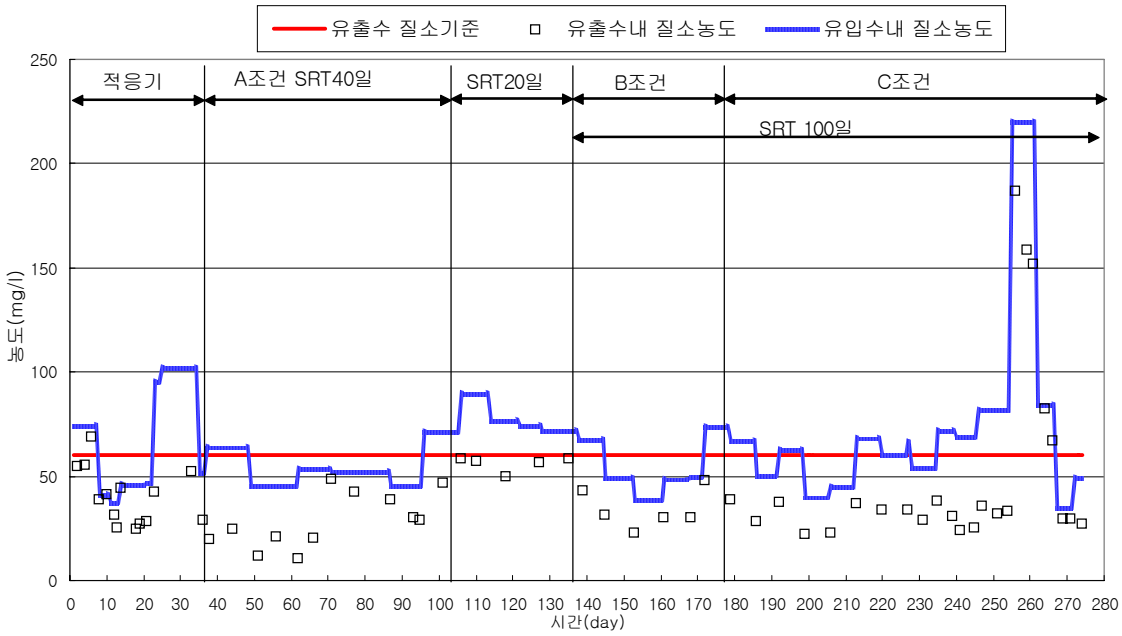
위판장폐수의 특성상 유입부하의 변동이 심하였으며 휴어기에는 폐수의 발생이 거의 되지 않았으며 농도 또한 낮게 나타났다. [그림 17]와 [그림 18]은 실폐수의 유기물과 질소의 농도변화를 나타내었다.



[그림 17] 위판장 실폐수의 유기물 농도변화

모든 반응조건에서 유출수 기준을 만족하였으며 유입수 농도의 변동이 매우 심하고 C조건부터는 휴어기철이라 유입수 농도가 낮게 나타났다. 유입수의 변동은 심하지만 유출수의 농도는 안정된 결과를 나타내어 SBR공정의 장점을 확인 할 수 있었다. 250일부분에서 어획량이 많아지면서 유입수의 농도가 높게 나타났다. 유기물농도가 높게 나타나게 되면 반응기의 반응시간을 변화시켜 처리하여야 할 것이며 현지에서 관리자의 판단에 의해 반응시간을 유동적으로 변화시켜 유입농도에 적절한 반응 시간비를 찾아내면 경제적이고 안정적인 처리를 할 수 있을 것으로 사료된다.

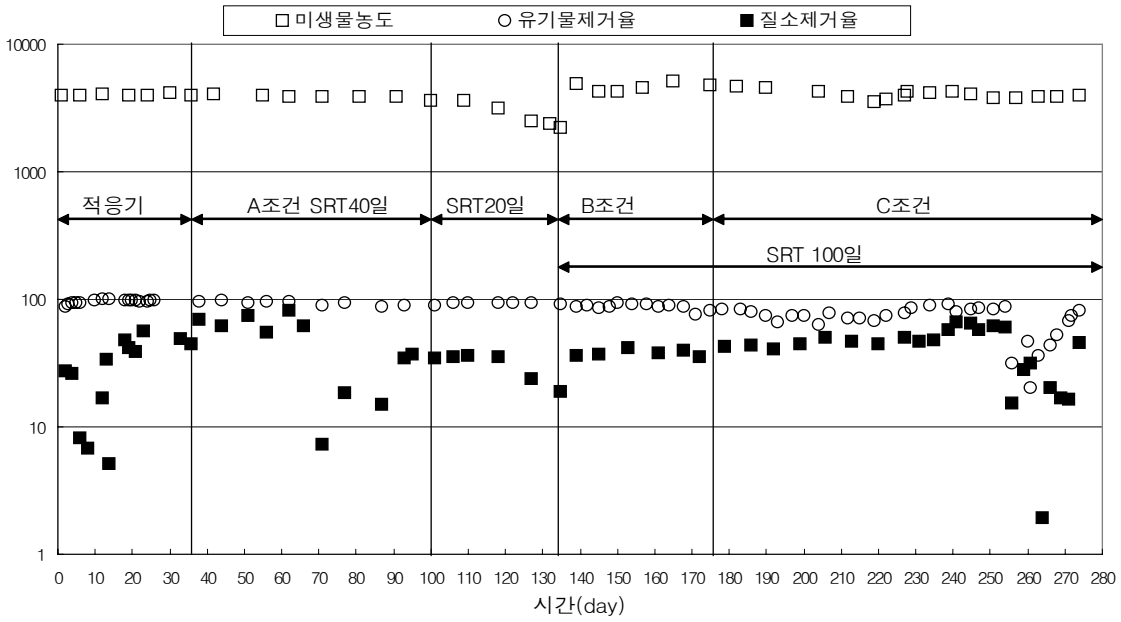
질소농도 역시 계절에 따른 변동이 심하였으나 모든 반응조건에서 유출수 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 SRT를 20일로 줄였을 경우 유출수내 질소농도가 높아지는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 미생물의 성장률보다 슬러지를 제거하는 속도가 더 빠르기 때문에 반응기내에 미생물 농도를 유지하기 힘들어서 나타난 결과이다.



[그림 18] 위판장 실폐수의 질소농도 변화

[그림 19]은 미생물농도에 따른 유기물과 질소의 제거율에 대한 그래프이다. 실폐수에서는 전체적으로 유기물의 제거율은 높으나 그에 비해 상대적으로 질소의 제거율은 높지 않다. 그것은 실폐수의 염분농도가 3.0%이상의 고농도 염분을 함유하고 있으며 유기물과 질소성분 이외의 독성성분이 존재하는 것으로 사료된다. 이는 실제 폐수를 채수하면 색깔이 까만색을 나타내는데 이것은 하역 작업시 사용되는 지게차의 타이어 자국을 세척수로 세척하기 때문에 발생되는 것이다. 따라서 타이어의 독성성분이 실폐수처리에 어떤 영향을 미칠 것이라 생각되며 향후 이에 대한 연구가 이루어져야 한다.

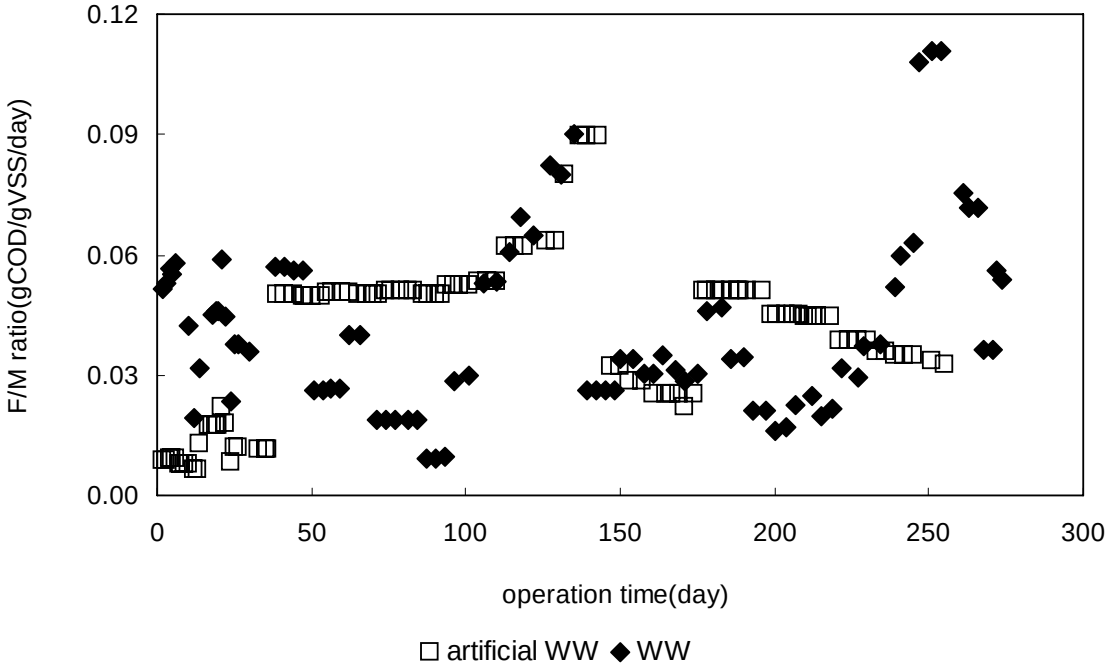
250일 이후에 유기물과 질소의 제거율이 갑자기 낮아지는 것을 볼 수 있는데 이는 휴어기에서 어획량이 많아지는 시기로 전환되면서 폐수 내 오염물의 농도가 급격히 높아져서 생긴 것이다. 유기물 300 mg/L, NH_4^+-N 60 mg/L이하의 농도에서는 C조건이 적당하지만 그 이상의 고농도에서는 폭기시간을 증가시키거나 간헐 폭기방식으로 변화시켜야 할 것으로 사료된다.



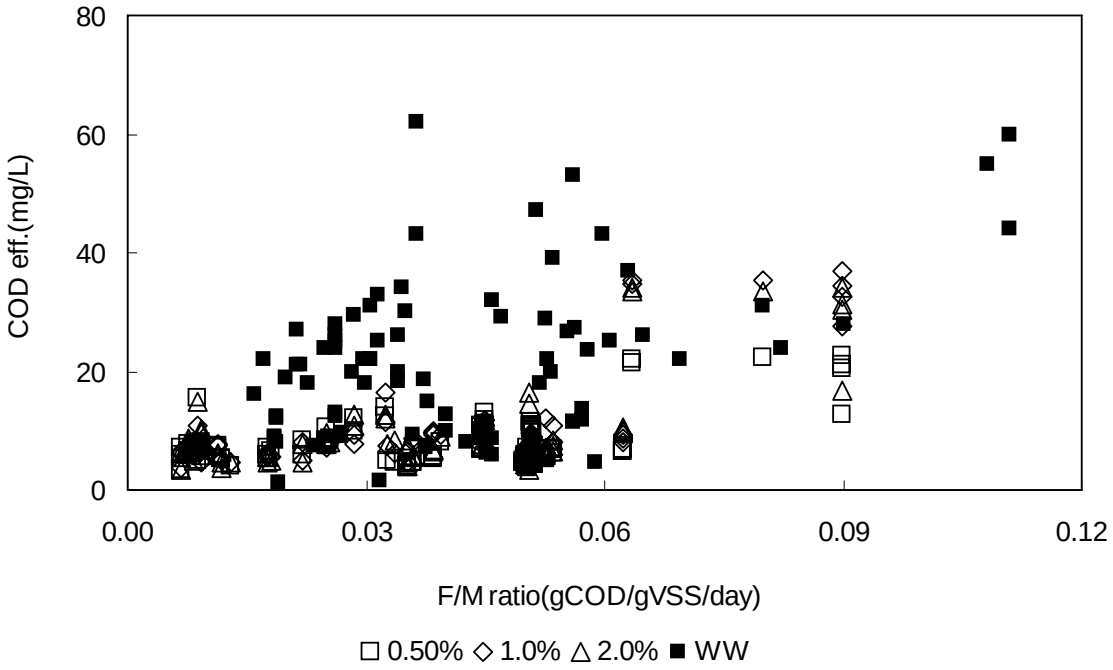
[그림 19] 미생물농도에 따른 유기물과 질소제거율

(마) F/M 비와 유입부하별 유출농도 및 제거율

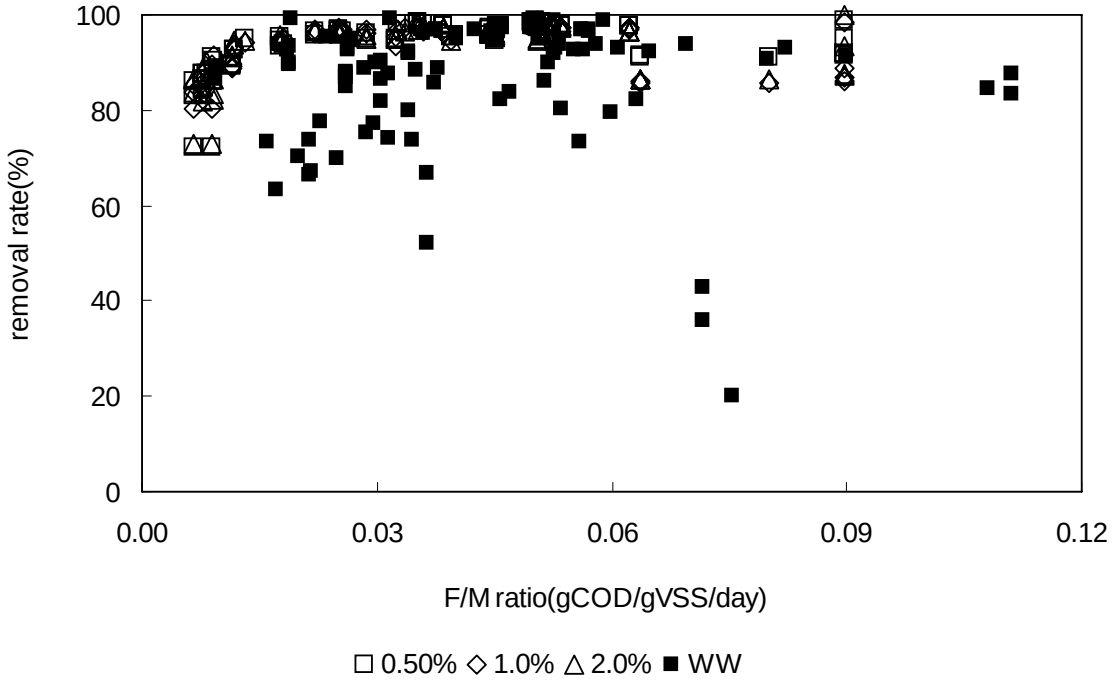
실폐수와 염분농도 0.5%, 1.0%, 2.0%로 조제된 인공폐수에 대한 운전기간별 F/M 비와 F/M에 따른 유출수 농도 및 제거율을 [그림 20], [그림 21], [그림 22]에 나타내었다.



[그림 20] 운전기간별 실폐수와 인공폐수에 따른 F/M 비 추이



[그림 21] 실폐수와 인공폐수의 F/M 비에 따른 유출수 농도 추이



[그림 22] 실폐수와 인공폐수의 F/M 비에 따른 제거율 추이

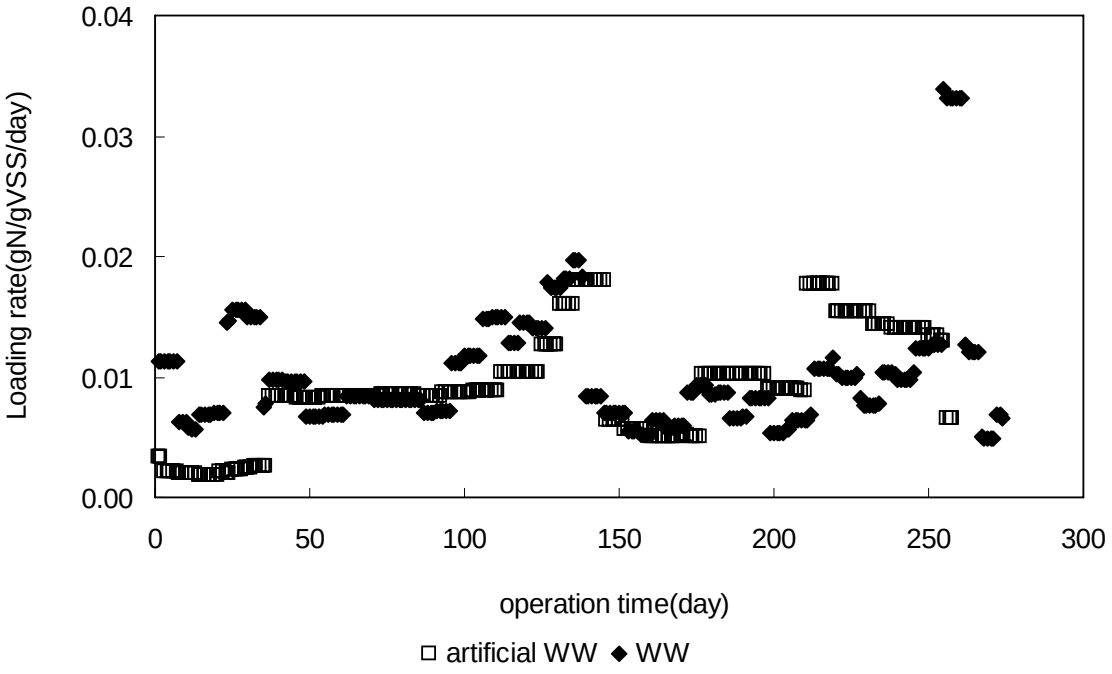
결과를 살펴보면, 운전기간 동안 인공폐수의 경우 0.007~0.090 gCOD/gVSS/day의 범위에서 운전되었으며 실폐수의 경우 0.009~0.259 gCOD/gVSS/day의 F/M 비 범위에서 운전되어, 실폐수가 인공폐수에 비해 변동이 큰 조건에서 운전되었음을 확인할 수 있었다.

F/M 비에 따른 유출농도를 살펴보면, 인공폐수의 경우 F/M 비가 0.6 gCOD/gVSS/day까지 10 mg/L이하로 배출되었으며, 그 이상의 조건에서 최고 40 mg/L의 높은 배출농도를 보였다. 전체 F/M비 조건에서 염분 농도에 상관없이 평균 8.0~9.2 mg/L의 배출농도를 보였다. 하지만 실폐수의 경우 0.02~0.06 gCOD/gVSS/day의 범위에서도 평균 20 mg/L이상의 배출농도를 보였으며, 전체 F/M 비 조건에서 평균 37.6 mg/L의 높은 배출농도를 보이는 것으로 확인되었다.

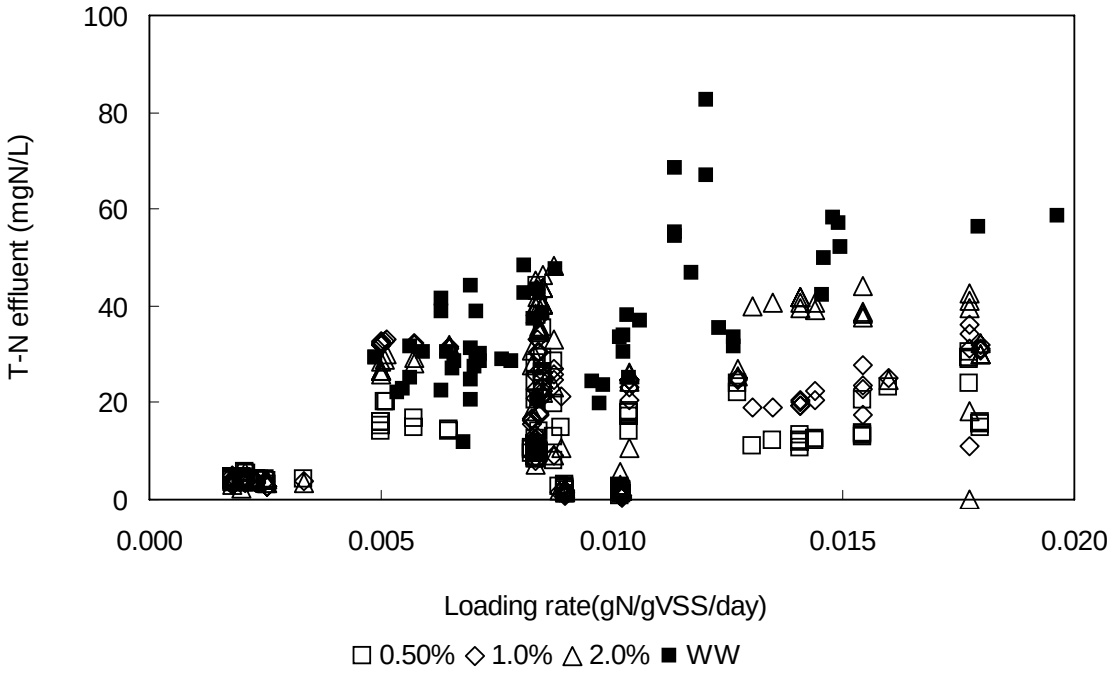
F/M 비에 따른 제거율을 살펴보면, 인공폐수의 경우 F/M 비가 0.02 gCOD/gVSS /day 이상에서 염분농도에 관계없이 95%이상의 제거율을 보였으며, 0.7 gCOD/gVSS /day 이상에서 90%이하까지 제거율이 감소되는 추이를 보였다. 실폐수의 경우 전 F/M 비 조건에서 제거율에 적지 않은 편차를 보였으며, 평균 84.4%의 제거율을 보였다.

실폐수와 염분농도 0.5%, 1.0%, 2.0%로 조제된 인공폐수에 대한 운전기간별 질소부하와 질소부하에 따른 유출수 농도 및 제거율을 [그림 23], [그림 24], [그림 25]에 나타내었다.

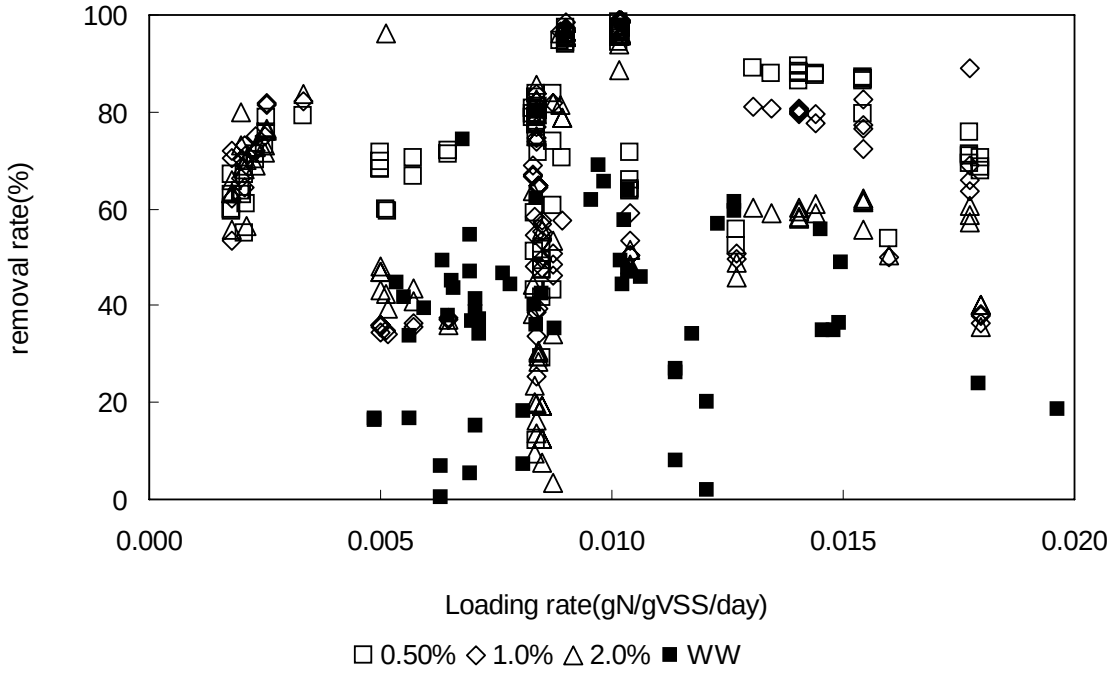
정리된 결과를 살펴보면, 운전기간 동안 인공폐수의 경우 0.002~0.018 gN/gVSS /day의 범위에서 운전되었으며 실폐수의 경우 0.005~0.034 gN/gVSS/day의 질소 부하율 범위에서 운전되어, 실폐수가 인공폐수에 비해 변동이 큰 조건에서 운전되었음을 확인할 수 있었다.



[그림 23] 운전기간별 실폐수와 인공폐수에 따른 질소부하 추이



[그림 24] 실폐수와 인공폐수의 질소부하에 따른 유출수 농도 추이



[그림 25] 실폐수와 인공폐수의 질소부하에 따른 제거율 추이

질소 부하율에 따른 유출농도를 살펴보면, 인공폐수의 경우 0.01 gN/gVSS/day이상인 부하 조건에서 안정적인 제거 농도 추이를 보였다. 0.01 gN/gVSS/day이상의 조건에서 염분농도가 1.0%이하인 조건에서는 유출농도가 20 mgN/L정도를 유지하였으며, 3.0%인 조건에서는 유출농도가 40 mgN/L 수준으로 배출되었다.

실폐수의 경우, 0.01 gN/gVSS/day이하인 조건에서 20~50 mgN/L의 범위로 배출되었으며, 0.01 gN/gVSS/day이상인 조건에서는 40~80 mgN/L범위로 배출되었다.

질소부하율에 따른 제거율 추이를 살펴보면, 인공폐수의 경우 동일 부하에서도 처리율에 일정한 차이를 보였으나, 60~80%의 제거율을 보이는 것으로 관찰되었다. 반면 실폐수의 경우 동일 부하에서도 제거율에 극심한 변화를 보여주었는데, 이는 실폐수에 포함된 탄소원 농도에 큰 영향을 받는 것으로 예상된다.

(3) 결과 및 결론

위판장폐수의 안정적인 처리방안을 모색하고자, 부하변동에 대응성이 유연한 SBR공정을 이용하여 염분농도에 따른 위판장폐수의 유기물, 질소처리공정을 실험적으로 연구하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

(가) U시 B위판장폐수의 성상은 COD는 60~386.7(252.9) mg/L, T-N 37.7~102.0 mg/L(62.7), T-P 8.8~24.1(12.5) mg/L, SS 90.5~143.6(116.2) mg/L로 부하변동이 크고 대부분 용존물질로 되어 있어, 응집침전에 의한 전처리 등은 효과가 크지 않음을 알 수 있었다.

(나) 인공하수를 이용한 실험에서 유기물제거효율은 SRT가 40일 이상의 경우 모든 조건에서 94%이상의 제거율을 보여, 유기물제거는 염분농도에 따른 영향은 크지 않은 것으로 나타났으나, SRT가 20일인 경우는 염분에 대한 영향을 받는 것으로 나타나 SRT를 40일 이상 유지하는 것이 필요할 것으로 판단되었다.

(다) COD/N비가 6인 C조건은 질소처리효율이 90%이상으로 나타났으나 3으로 낮은 D조건에서 질소처리효율이 80%이하로 낮아졌고 이는 COD/N비가 낮을 때 염분에 대한 저해를 받으며 염분농도보다 유기물과 질소의 비에 의한 저해가 더 크기 때문으로 사료된다.

(라) 실험실 실폐수 실험의 경우 유기물과 질소의 부하가 0.009~0.259 gCOD/gVSS /day와 0.005~0.034 gN/gVSS/day로 나타나 유입부하변동이 매우 심함을 확인할 수 있었다. 처리율은 전구간에서 60%이상의 제거율을 보였으며, 몇 개의 시료를 제외하면 대부분 40 mg/L이하의 안정된 처리를 보여주었다. 질소의 경우도 처리율의 변동이 매우 컸으나, 대체로 60 mg/L이하의 안정된 값을 보여주어, 위판장 폐수처리에 SBR 공정의 적용성이 매우 높음을 보여주었다.

나. 수산물 위판장 폐수처리 기술의 실용화 연구(2차 년도)

(1) 수산물 위판장 폐수처리 공정의 최적화

(가) SBR 공정예측을 위한 신경망모델 개발

위판장 폐수처리 효율 예측을 위한 SBR 모델로 최근 생물학적 처리 시스템 모델링에 사용이 늘어나고 있는 ANNs(Artificial Neutral Networks, 인공신경망회로) 모델을 사용하였다. 본 연구에서는 유입COD, 유입질소, 염분농도, 포기시간, MLVSS농도, C/N비 등 쉽게 모니터링 할 수 있는 변수들을 이용하여 SBR 운전에서 유출수의 COD, NH^{+}-N, NO_3^{-}-N, NO_2^{-}-N 농도뿐만 아니라 COD 및 총질소 제거효율과 같은 변수들을 예측할 수 있도록 SBR 용 ANN model 을 개발하였으며, 1차년도 연구자료를 이용하여 검토하였다.

① 전처리 및 추출

255일 동안 연속 작동된 3개 SBR system으로부터 얻어진 실험데이터는 염분조건이 0.5~2%인 시스템에서 안정상태와 불안정상태 작동을 설명하는 데이터의 공간적 분포를 얻기 위해 무작위화하였다. 그 데이터는 표준화되었고 은닉층과 출력층에 적합하도록 식 (1)에 의하여 정규화하여 0에서 1의 범위 내에 들도록 하였다.

$$\hat{X} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad \text{----------(1)}$$

여기서, X는 표준값

Xmin은 최소값

Xmax은 최대값

② 자료구분

3개의 SBR 반응기에서 얻어진 255일간 실험데이터를 종합하여 총 765개의 네트워크 입력인자: COD, 질소, 염분농도, 포기시간, MLVSS농도, C/N비와 유출수의 COD, NH_4^{+}-N, NO_3^{-}-N, NO_2^{-}-N를 얻었다. 이 데이터의 75%는 네트워크 훈련에 사용하였으며, 나머지 25%는 모델의 검증에 사용하였다.

③ 네트워크의 내부인자와 성능평가

네트워크의 예측능력에 영향을 미치는 은닉층수(N_H), training count(T_c), learning rate(η), momentum term(μ)와 같은 내부 네트워크인자들의 영향은 2^k 완전요인실험계획법을 사용하여 연구하였다. 연구에 사용된 다양한 인자와 수준은 [표 7]에 주어져 있다. 식 (2)에 상관계수 R은 모델의 정확성, 예측성을 평가하는 오차평가의 지표로서 사용되었다.

$$R = \frac{\Sigma XY - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{N}}{\sqrt{\left(\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{N}\right)\left(\Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{N}\right)}} \quad \text{----------(2)}$$

[표 7] 네트워크실행 평가를 위한 실험매개변수와 실행순서

Run order	Nh	Tc	η	μ
1	6	20000	0.1	0.1
2	12	20000	0.1	0.1
3	6	50000	0.1	0.1
4	12	50000	0.1	0.1
5	6	20000	0.9	0.1
6	12	20000	0.9	0.1
7	6	50000	0.9	0.1
8	12	50000	0.9	0.1
9	6	20000	0.1	0.9
10	12	20000	0.1	0.9
11	6	50000	0.1	0.9
12	12	50000	0.1	0.9
13	6	20000	0.9	0.9
14	12	20000	0.9	0.9
15	6	50000	0.9	0.9
16	12	50000	0.9	0.9
17 (C.P)	9	35000	0.5	0.5

Note : N_H-숨겨진 층의 뉴런의 개수, T_c-연습숫자, η-학습속도, μ-모멘트항, C.P-Centerpoint

④ 소프트웨어사용

통계계산과 분석은 MINITAB 소프트웨어가 사용되었다. ANN에 기초한 예측모델은 신경망과 다변통계모델링 소프트웨어인 NNMODEL(Version 1.4, Neural Fusion, NY) 사용하여 수행되었다. 실험데이터는 Excel을 위한 NeuroSolutions 소프트웨어에 있는 “임의정렬”기능을 사용해 전처리하였다.

⑤ 결과 및 토의

시뮬레이션결과 연습네트워크 12번째 실행에서 높은 R값을 나타내었다[표 8]. 다른 시뮬레이션에서는 낮은 R값을 나타내었는데 그 이유는 모델에서 출력 층과 숨겨진 층의 뉴런의 수가 변화하여 네트워크의 복잡성이 증가했기 때문이다. 12번째 조건에 파라메타에 의한 훈련과 검증의 결과는 [표 9]에 나타나 있다.

[표 8] Traing parameter 및 Run order 와 R의 관계

Run order	Nh	Tc	η	μ	R
1	6	20000	0.1	0.1	0.6036
2	12	20000	0.1	0.1	0.6534
3	6	50000	0.1	0.1	0.6033
4	12	50000	0.1	0.1	0.6450
5	6	20000	0.9	0.1	0.5492
6	12	20000	0.9	0.1	0.5558
7	6	50000	0.9	0.1	0.5608
8	12	50000	0.9	0.1	0.5560
9	6	20000	0.1	0.9	0.5804
10	12	20000	0.1	0.9	0.6421
11	6	50000	0.1	0.9	0.6036
12	12	50000	0.1	0.9	0.6639
13	6	20000	0.9	0.9	0.4450
14	12	20000	0.9	0.9	0.5930
15	6	50000	0.9	0.9	0.4381
16	12	50000	0.9	0.9	0.5689
17 (C.P)	9	35000	0.5	0.5	0.6230

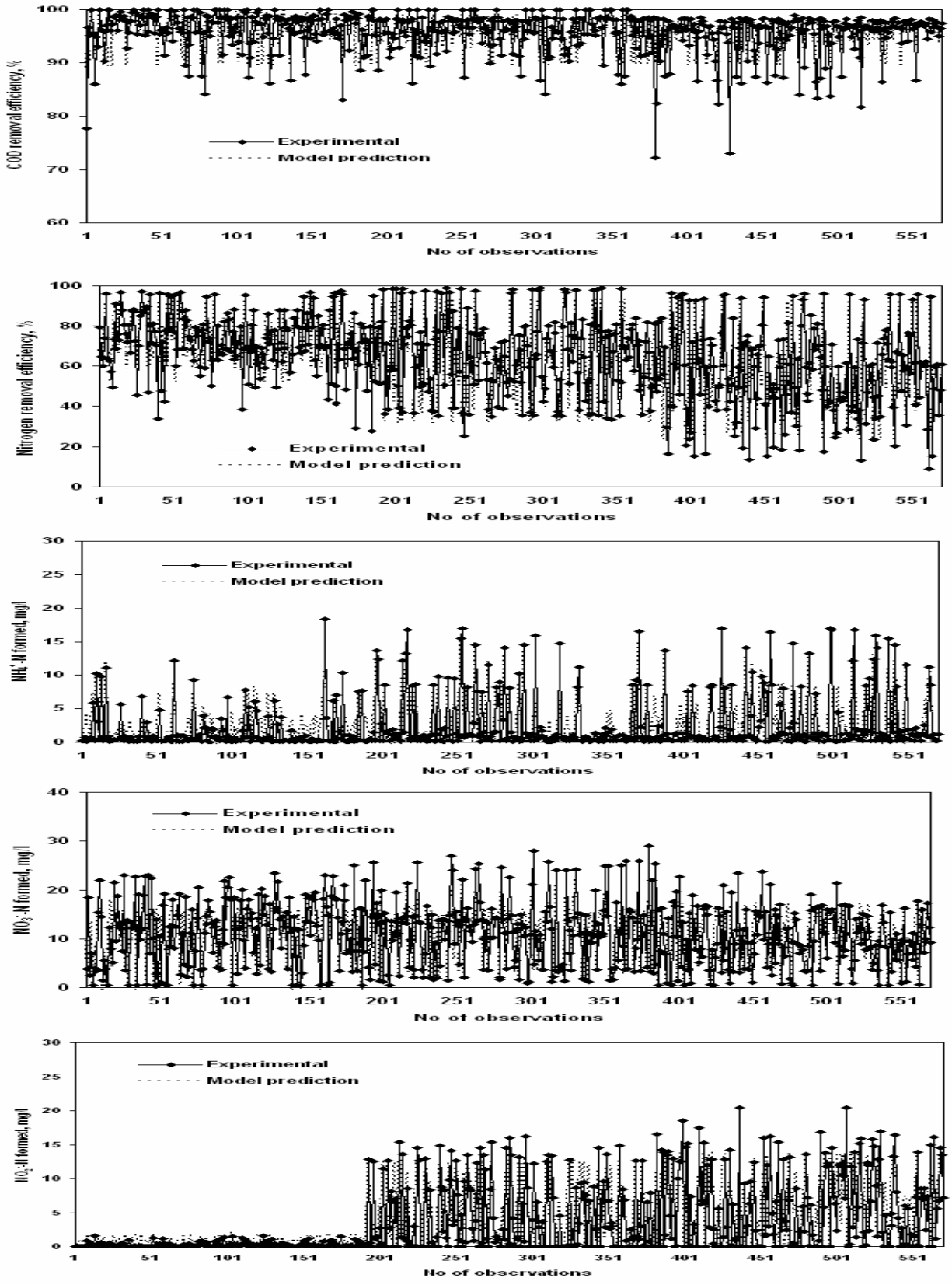
Note : N_H-숨겨진 층의 뉴런의 개수, T_c-연습숫자, η-학습속도, μ-모멘트항, C.P-Centerpoint

[표 9] 네트워크 연습 및 실험중의 상관계수 R값

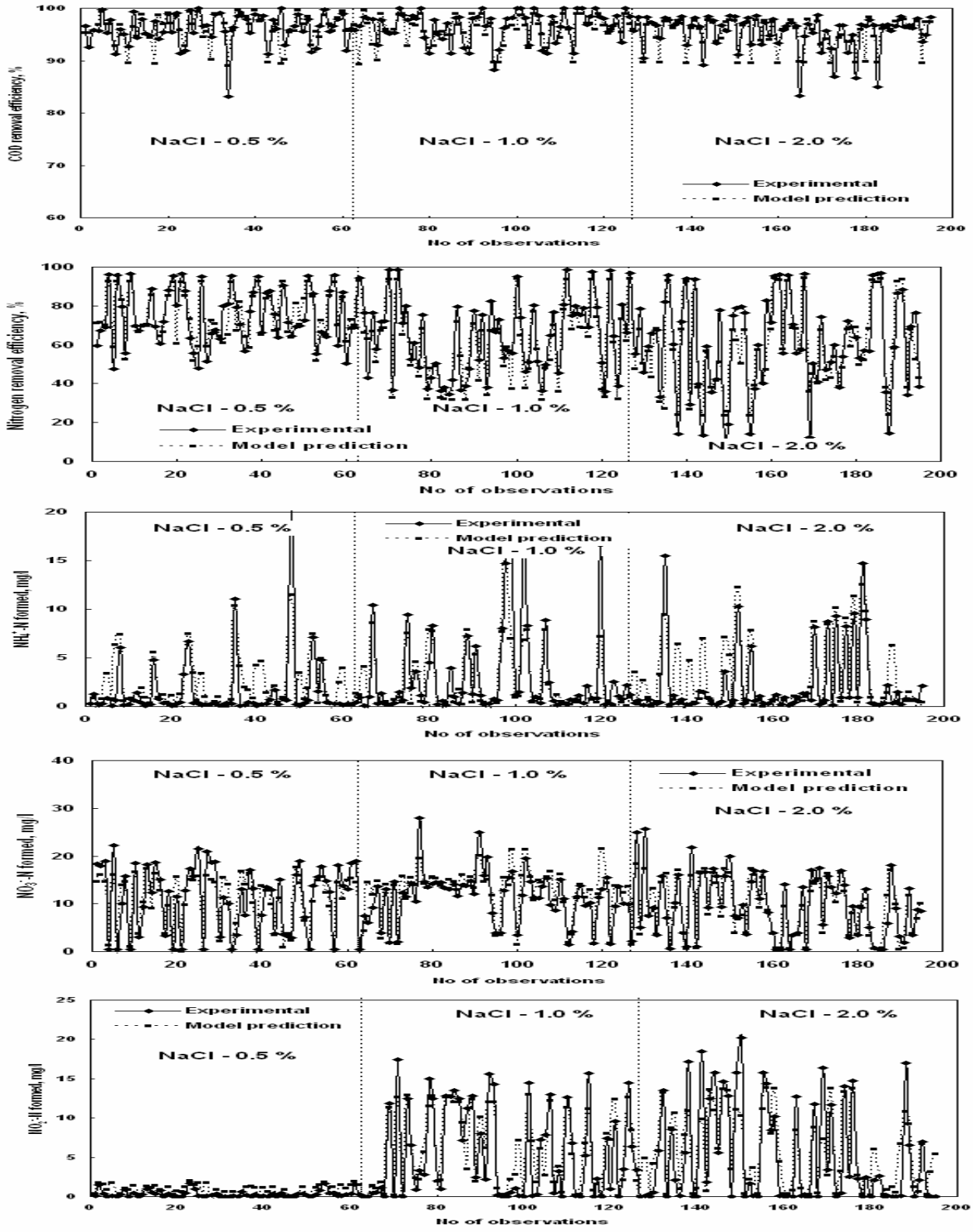
Parameter	R value during training	R value during testing
COD-RE	0.8005	0.8579
N-RE	0.7919	0.7567
NH_4^+-N	0.8443	0.8453
NO_3^--N	0.8258	0.8184
NO_2^--N	0.8372	0.8450

이 연구의 훈련과 실험중의 결과는 [그림 26]과 [그림 27]에 다양한 변수를 대상으로 나타내었다. 이 결과는 신경망 회로모델은 유기물과 질소의 농도에 상관없는 데이터의 변화를 정확하게 도해할 수 있음을 보여주고 있다. 입력인자가 개발된 모델에 미치는 영향을 파악하기 위하여 절대평균 민감도로 민감도 분석을 수행하였다. [그림 28]은 모델 파라미터에 의한 민감도 분석 결과를 나타낸 것이다. 미생물 농도는 질소제거와 암모니아 제거에 영향을 많이 미치는 반면, C/N비는 NO_3^--N의 제거에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 염분농도는 유기물과 질소제거에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 위판장 폐수처리시 미생물이 염분에 적응된 후에는 처리효율에 미치는 영향이 크지 않을 것으로 예측되었다.

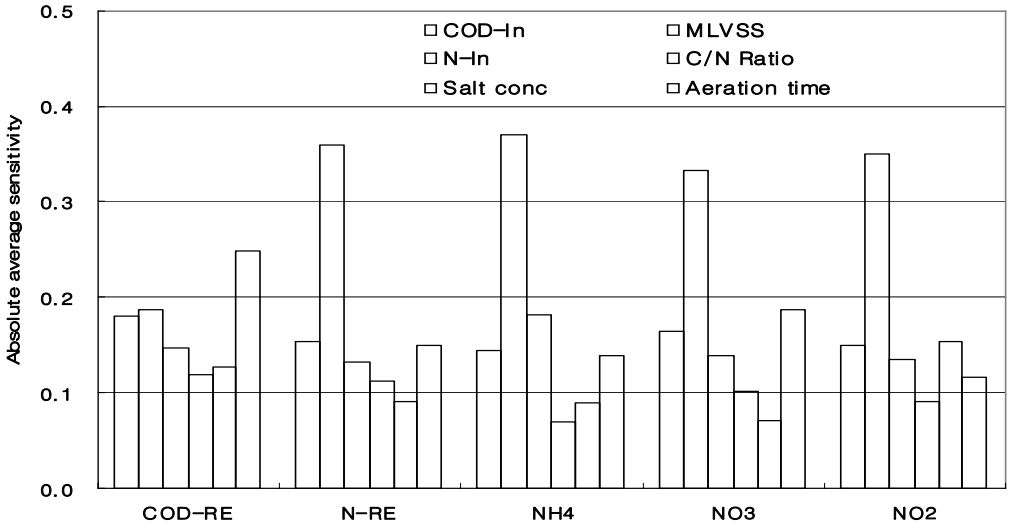
이 연구 결과는 신경망 회로모델이 SBR과 같이 복잡한 시스템에 대한 경험적 모델로서 활용될 수 있음을 보여주었다.



[그림 26] 네트워크 훈련 중 ANN모델의 예측 능력



[그림 27] 네트워크 실험 중 ANN모델의 예측 능력



[그림 28] 모델인자에 대한 민감도 분석

(나) SBR의 최적운전 조건 파악을 위한 요인분석 실험

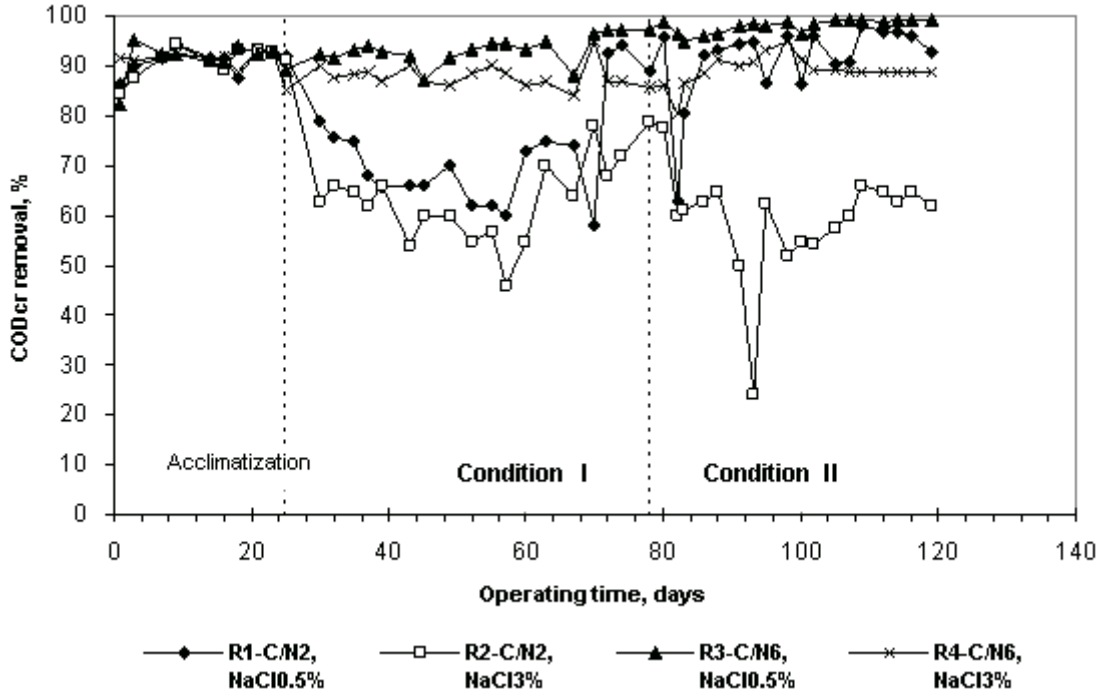
공정의 첫 번째 구간은 적응기로써 실험은 [표 10]에서 설명한 조건하에 수행하였다. 시스템이 안정된 18일 이후에는 운전 다음 단계에서 (조건Ⅰ, 조건Ⅱ), 실험은 [표 2]에서 제시한 조건대로 4개 반응기의 유기물, 총 탄소 및 질소 제거율에 대한 공정 변수의 효과를 결정하기 위해 수행하였다. COD, TOC 및 총질소의 농도를 규칙적으로 관찰하는 것 외에 NO_3^--N, NO_2^--N, NH_4^+-N, PO_4^{3-}-P, 알칼리도, MLVSS, ORP, pH, DO 또한 측정하였다. 연구 결과는 [그림 29~31]에 나타내었다. 다른 운전 조건하에 시스템 운전 경향을 살펴보기 위해 트랙스터디를 수행하였다.

[표 10] 안정화 단계 동안 운전 조건

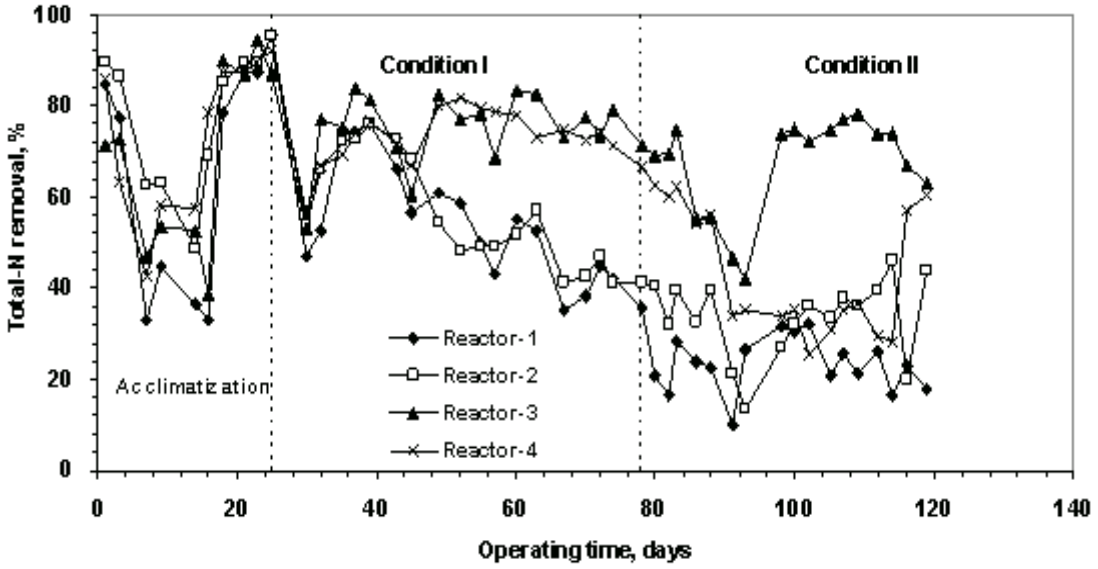
Parameter	Value
C/N ratio	6
Salt concentration	1.5%
Influent COD	300 mg/l
Influent total nitrogen	50 mg/l
Aeration time	4 hours
C/N ratio	6

4개 SBR 운전에서 C/N비 및 운전 조건에 따라 COD 제거율은 [그림 29]와 같이 70~95%로 다양하게 나타났다. 총 질소제거율은 [그림 30]과 같이 염분농도를 3%로 하고 C/N비를 6으로 한 세 번째, 네 번째 반응기에서 가장 높게 나타났다(>70%). 그러나 C/N비를 2로 한 1번, 2번 반응기의 제거율은 40%에 미치지 못했다. 비록 반응기 사이에 염분 농도에 대한 편차는 있어도 그 영향은 탈질 단계에서 중요한 역할은 하지 않는 것을

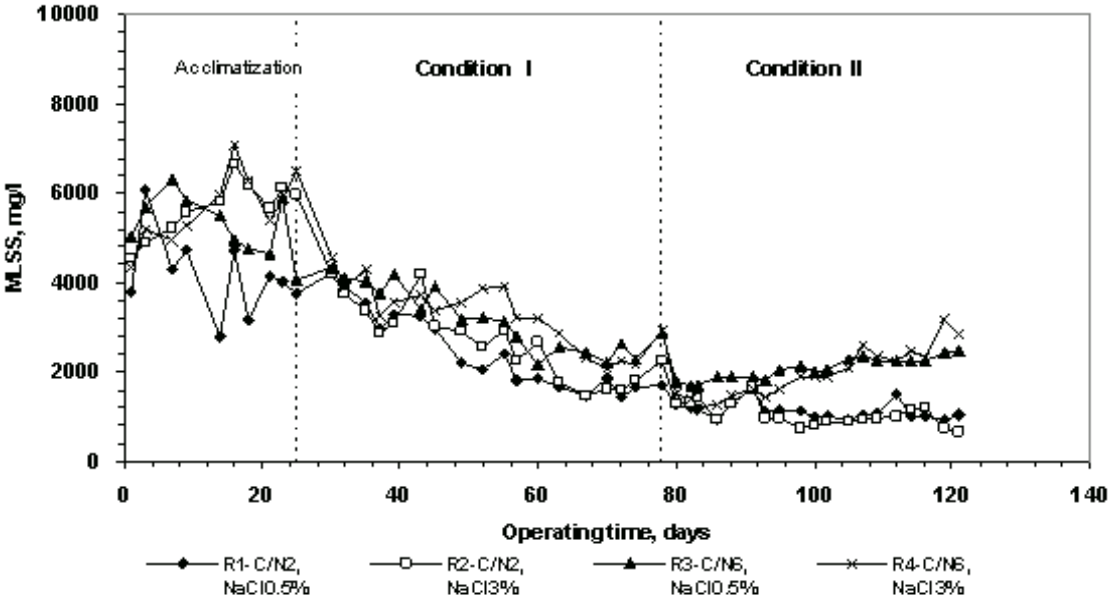
알 수 있다. 1 단계 운전 기간동안 모든 반응기의 MLVSS농도는 [그림 31]과 같이 서서히 감소하였는데 이것은 SRT를 유지하기 위해 잉여 슬러지를 제거, 기질 제한성, 염분의 방해 작용, 세포분해 등으로 본 실험이 유사 안정상태에서 수행되었음을 의미한다. 탄소와 질소의 제거상태를 안정화시킨 후 반응기는 실험 계획법에 따라 5~8의 조건(Day 78)으로 변경하였다. 이 단계에서는 폭기 시간을 8시간으로 하였다. 고농도 염분 존재 하에서는 C/N비가 6이었지만 반응기 4번의 질소제거율은 42%로 감소하였고, 낮은 C/N비에서는 폭기 시간을 두 배로 늘려도 질소제거율은 50%까지 감소하는 것으로 나타나 C/N비와 염분 조건이 질소 제거율에 영향을 미치고 있음을 보여주었다. 현재는 SBR 실험을 수행하는데 관련된 오차를 측정하기 위해서 9번과 10번의 운전 조건으로 수행하고 있어, 이 결과를 바탕으로 종합적인 분석을 실시할 예정이다.



[그림 29] 요인분석 실험시 SBR 반응기에서의 COD 제거율



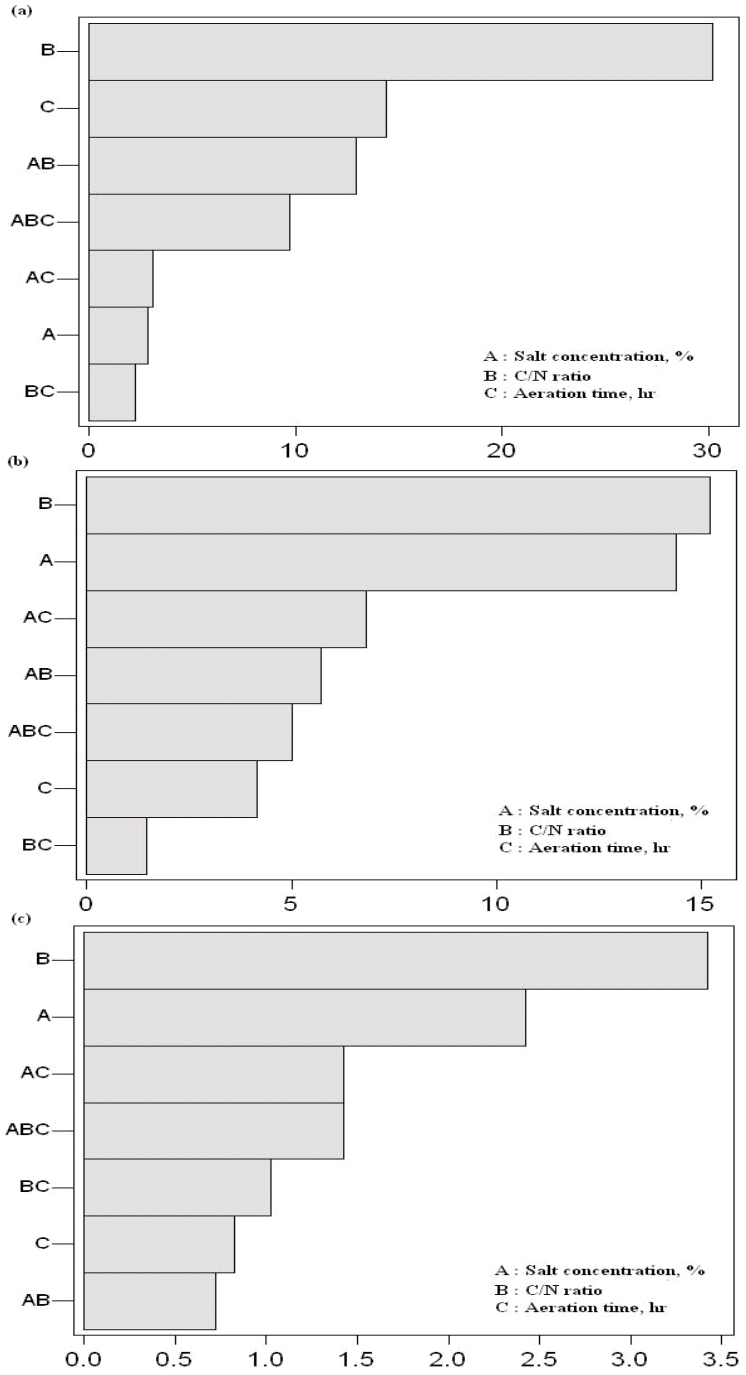
[그림 30] 요인분석 실험시 SBR 반응기에서의 총 질소제거율



[그림 31] 요인분석 실험시 SBR 반응기에서의 MLVSS 농도

총 8개의 실험 후 결과를 ANOVA(Analysis of variance, 분산분석), pereto, 주 효과 및 상호관계 그래프를 통해 통계학적으로 분석하여 [그림 32]에 나타내었다. 하나의 변수인 C/N비(B)는 염분 농도(A)나 폭기 시간(C)에 비해 모든 응답 변수에 큰 영향을 미친다. 염분 농도와 C/N비의 상호관계(AB) 효과는 질소 제거에 영향을 미친다. 또한 염분 농도와 폭기 시간의 상호관계(AC)는 COD와 TOC 제거율에 중요한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 본 연구 결과는 실험실 규모의 운전시 낮은 염분 농도(0.5%), 높은 C/N비(6) 그리고 폭기 4시간으로 하였을 때 질소, COD, TOC 제거율은 각각 94.7%, 94.7%,

99.2%로 최적 운전 조건인 것으로 나타났다.



[그림 32] 응답 변수에 대해 높은 영향력의 순위를 나타낸 Pereto 그래프
(a) 총 질소 제거 (b) COD 제거 (c) TOC 제거

(2) SBR 공법과 연계 가능한 물리화학적 전후처리 검토

(가) 수산물 위판장 폐수처리 현황

수질환경보전법 시행규칙 배출시설(제6조 관련)의 분류에서 수산물 관련 배출시설의 분류는 [표 11]과 같다. [표 11]의 배출시설의 분류에서와 같이 면적 700㎡ 이상인 수산물 판매장에는 배출시설의 설치가 의무화 되어 있으며, 배출시설의 운영자는 시설전반에 관한 사항을 환경부 및 국립환경과학원으로 제출하도록 되어 있다.

본 연구에서는 국립환경과학원 수질환경과의 업무협조를 통해 전국의 수산물 판매장 현황자료를 [표 12]~[표 15]에 정리하였다.

[표 11] 배출시설의 분류

배출시설	표준산업분류	포함 또는 제외시설
수산물 판매장 (면적 700㎡ 이상)	51313(수산물도매업)	건어물·젓갈류를 판매하는 곳이 별도로 구획된 경우 또는 활어를 판매하는 시설, 수산물 소매시설로서 발생되는 폐수를 오수처리시설로 유입하는 경우에는 제외함
	52213(수산물소매업)	

[표 12] 수산물 판매시설 (41개소)

행정구역		서울	부산	인천	대구	울산	경기	강원	충남	전북	전남	경북	경남	제주	계
처리형태	면제승인		1												1
	개별처리 후 직접방류	1	5	4		1		2	1	1	8	4	1	1	29
	개별처리(또는 원폐수)후 하수종말처리시설 유입처리	2		1	1		3			1			2	1	11
	위탁처리														
	공동처리 후 직접방류														
	계	3	6	5	1	1	3	2	1	2	8	4	3	2	41
처리규모	1종	3	1												4
	2종		1												1
	3종		1				1								2
	4종		1	3	1	1	1	1			1	1	1		11
	5종		2	2			1	1	1	2	7	3	2	2	23
처리방법	종합	1	4	2			2			1	2	1		1	14
	물리		1												1
	생물	1		2		1	1	2	1		5	3	2	1	19
	화학	1								1	1				3
	위탁처리			1	1								1		3
	면제승인		1												1
	기타														

[표 12]에는 전국의 수산물 판매시설에 대한 기본현황자료를 정리하였다. [표 12]에서 보면 처리형태는 개별처리 후 직접방류가 전체의 71%를 점유하고 있으며, 처리규모는 5종 처리시설이 56.1%를 차지하고 있다. 마지막으로 처리방법 항목에서는 생물처리가 19개소, 종합처리가 14개소, 화학처리, 위탁처리방식이 각 3개소였다.

[표 13]에는 전국의 수산물 가공시설에 대한 현황자료를 정리하였으며, 가공시설에는 수산물공동할복장 등의 시설도 일부 포함되어 있지만 대부분이 수산물관련 식품가공회사이다. [표 12]에서 처리형태는 개별처리 후 직접방류가 55%, 개별처리(또는 원폐수) 후 하수종말처리시설 유입처리가 8.2%, 공동처리(또는 원폐수) 후 하수종말처리시설 유입처리 3.3% 등으로 분포하고 있다.

처리규모는 5종 처리시설이 81.6%, 4종 처리시설 12.9%, 3종 처리시설 4.6%, 2종 처리시설 0.8%이었으며, 1종 처리시설은 없는 것으로 나타났다.

처리방법 항목에서는 생물처리가 40.3%, 종합처리 13.3%, 화학처리 7.8%, 물리처리 2.7%, 위탁처리 12.6%였으며, 10곳(1.2%)에는 고도처리방식이 설치되어 있었다.

[표 14]에는 [표 12]의 수산물 판매시설 중에서 판매시설 처리수가 해역으로 보내지지 않는 7개소를 제외한 나머지 34개소의 현황을 정리하였다. [표 14]에서 보면 처리형태는 면제승인이 1개소, 개별처리 후 직접방류가 27개소(79.4%), 개별처리(또는 원폐수)후 하수종말처리시설 유입처리가 6개소였다.

처리규모는 1, 2, 3종이 각각 1개소, 4종 처리시설이 10개소(29.4%), 5종 처리시설이 21개소(61.8%)를 차지하고 있다. 처리방법에서는 생물처리가 19개소로 전체처리방식의 55.9%를 차지하였고 다음으로는 종합처리가 11개소(32.4%)를 차지하였다.

[표 13] 수산물 가공시설 (842개소)

행정구역		서울	부산	인천	대구	광주	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	계
처리형태	면제승인				1												1
	개별처리 후 직접방류		14	4		1	2	10	53	3	23	10	50	66	204	23	463
	개별처리(또는 원폐수)후 하수종말처리시설 유입처리		17		2			1	7			2		8	32		69
	개별처리(또는 원 폐수)후 산업단지(농공단지) 폐수종말 처리시설 유입처리				1				3		1		1	2	2		10
	공동처리(또는 원폐수)후 하수종말처리시설 유입처리		21					2	2						1	2	28
	공동처리(또는 원폐수)후 산업단지(농공단지) 폐수종말 처리시설 유입처리														6	1	7
	공동처리 후 직접방류		24						4				4	1	7		40
	위탁처리		15	1			1	2	1	1	15	9	8	10	62	1	126
	기타		22			1		9	41		5		13	1	5	1	98
	계		113	5	4	2	3	24	111	4	44	21	76	88	319	28	842
처리규모	1종																0
	2종		2						3		1			1			7
	3종		5						17					10	7		39
	4종		18		2		1		38	1		1	5	23	19	1	109
	5종		88	5	2	2	2	24	53	3	43	20	71	54	293	27	687
	계		113	5	4	2	3	24	111	4	44	21	76	88	319	28	842
처리방법	종합		40		1			5	14	1		3	9	15	23	1	112
	물리			1							2		8	3	9		23
	생물		24	2	1	1	2	1	46	2	8	5	18	37	174	18	339
	화학		1	1				3	6		1	1	18		33	2	66
	고도처리		8											1	1		10
	위탁처리		18	1			1	1	1	1	8	9	8	11	46	1	106
	면제승인											3		19	7	1	30
	기타		22		2	1		14	44		25		15	2	26	5	156
	계		113	5	4	2	3	24	111	4	44	21	76	88	319	28	842

[표 14] 연안지역 수산물 판매시설 (34개소)

행정구역		부산	인천	울산	경기	강원	충남	전북	전남	경북	경남	제주	계
처리형태	면제승인	1											1
	개별처리 후 직접방류	5	4	1		2	1		8	4	1	1	27
	개별처리(또는 원폐수)후 하수종말처리시설 유입처리		1		1			1			2	1	6
	위탁처리												
	공동처리 후 직접방류												
	계	6	5	1	1	2	1	1	8	4	3	2	34
처리규모	1종	1											1
	2종	1											1
	3종	1											1
	4종	1	3	1	1	1			1	1	1		10
	5종	2	2			1	1	1	7	3	2	2	21
	계	6	5	1	1	2	1	1	8	4	3	2	34
처리방법	종합	4	1	1					2	2	1		11
	물리	1											1
	생물		4		1	2	1		6	2	1	2	19
	화학							1					1
	위탁처리										1		1
	면제승인	1											1
	기타												
	계	6	5	1	1	2	1	1	8	4	3	2	34

[표 15]에는 [표 14]의 연안지역 수산물 판매시설(34개소) 중에서 BOD, COD, SS, 총인, 총질소 등 5개 수질항목의 유입, 유출 자료가 확보되는 17개소의 수질자료를 정리하였다. 유입수질은 BOD 90~4,680 mg/L, COD 33~2,500 mg/L, SS 91~3,572 mg/L, 총인 1.29~372 mg/L, 총질소 23~350 mg/L 등의 수질을 보였다. 유출수질은 BOD 2.2~70 mg/L, COD 5.6~67 mg/L, SS 2~80 mg/L, 총인 0.09~18 mg/L, 총질소 5~46 mg/L로 조사되었다.

17개소 평균값 기준으로는 BOD항목은 제거율이 96.9%, COD는 94.4%, SS는 94.9%, 총인항목은 91.7%, 총질소 항목은 78.6%의 제거율을 나타내었다.

[표 15] 연안지역 수산물 판매시설 수질현황 (17개소)

업소명	폐수오염도 mg/l									
	기타 오염물질 처리 전 농도					기타 오염물질 처리 후 농도				
	BOD	COD	SS	총인	총질소	BOD	COD	SS	총인	총질소
부산공동어시장	N.A	500	430	8.3	200	N.A	53	30	N.A	N.A
부산시수협다대공판장	4680	1688	3572	56	350	24	20	24	1	44
㈜남천해변시장	400	300	300	N.A	N.A	23	13	24	N.A	N.A
㈜인천종합어시장	242	116	375	N.A	N.A	14	20	37	N.A	N.A
㈜동림수산	1149	1200	400	N.A	N.A	70	67	75	N.A	N.A
옹진수산업협동조합	700	600	900	N.A	N.A	20	15	20	N.A	N.A
인천수산업협동조합	205	115	183	N.A	N.A	15	14	18	N.A	N.A
울산수협	184	173.1	263.7	1.29	81.7	9.46	13.4	9.58	0.09	18.2
안산시농수산물도매시장	954	699	828	N.A	N.A	20	35	28	N.A	N.A
동해시 수산업 협동조합	450	400	500	N.A	N.A	5	9	2	N.A	N.A
삼우냉동	690	540	480	N.A	N.A	30	32	20	N.A	N.A
제3.4구잠수기수산업 협동조합	290	320	330	372	27.2	11.8	45.9	25	18	5
죽변수산업협동조합	210	180	190	N.A	N.A	60	50	60	N.A	N.A
후포수산업협동조합	250	180	190	N.A	N.A	70	60	80	N.A	N.A
삼천포수산업협동조합	3500	2500	850	N.A	N.A	50	60	20	N.A	N.A
제주시수산업협동조합 위판장	90	33	91	4	23	2.2	5.6	12	2.5	19
서귀포수산업협동조합	160	210	300	14	110	17	33	34	10	46
최대값	4680	2500	3572	372	350	70	67	80	18	46
최소값	90	33	91	1.29	23	2.2	5.6	2	0.09	5
17개소 평균	884.63	573.77	598.98	75.93	123.65	27.59	32.11	30.50	6.32	26.44

주) 연안지역 34개소 판매시설 중 BOD, COD, SS, 총인, 총질소 자료가 확보 되는 17개소를 대상으로 수질평균자료를 구함

(나) 수산물 위판장 폐수처리시설 관련 정책변화

해양수산부에서는 해양환경보전 종합계획(2001～2005)을 2001년에 수립하였으며, 아래와 같이 육상기인 오염원의 해양유입 방지를 위하여 세부과제의 하나로 “수산물위판장 폐수처리시설 설치” 사업을 계획하여 추진하였다.

① 해양환경보전 종합계획(2001～2005년)

㉮ 현황 및 문제점

- 영세 어업인들이 산지 위판장에서 수산물을 처리하는 과정에서 폐수가 발생하여 해양환경오염 유발
- 수질환경보전법에 의거 700㎡이상 규모의 위판장에 폐수배출시설 설치 의무화
- 위판장 폐수처리시설은 시설비 및 운영비가 과다하게 소요되는 반면, 수익성이 없어 설치를 못하고 있는 실정

㉯ 추진방향

- 산지위판장중 700㎡이상 규모의 위판장에 폐수처리시설을 지원하여 해양오염을 방지하고, 어업인들의 해양환경보호에 대한 인식 제고

㉰ 추진계획

- 사업기간 : 2001～2005
- 사업규모 : 1개소당 200백만원 수준
- 지원대상 : 산지수협 및 어촌계

㉱ 설치계획

	계	2001	2002	2003	2004	2005
수량(개소)	25	2	4	6	7	6
설치지역	전남외 4	경북 2	전남 2 경남 2	경남 2 전남 2 강원 1 충남 1	강원 1 경남 2 충남 1 전남 3	전남 2 강원 1 경남 3

㉲ 연차별 투자계획

(단위: 백만원)

		계	2001	2002	2003	2004	2005
수 량		25	2	4	6	7	6
사업비	계	5,000	400	800	1,200	1,400	1,200
	국고	3,500	280	560	840	980	840
	자담	1,500	120	240	360	420	360

㈅ 기대효과

- 연안오염방지로 수산자원보호와 어업인의 생활터전인 해양의 생산력 제고
- 위판장 운영주체인 산지수협 및 어촌계로 하여금 설치·운영토록 함으로써 자율적으로 폐수발생을 억제토록 유도하여 해양오염방지 효율성 제고

② 2001년 이후 사업추진 내용

2001년에는 전국 수산물위판장을 대상으로 폐수처리시설 설치를 독려하되, 폐수처리시설 의무화대상인 위판장(700㎡이상)에 대하여 우선 설치 지도를 하였으나 2002년도는 위판장 폐수처리시설 지원 희망자 부재로 예산이 미확보 되었다.

따라서 2002년도부터는 사업대상을 위판장에서 오징어, 명태 등 수산물을 분산 가공하던 것을 집단화하고 공동작업(할복·세척)시 발생하는 폐수를 처리 할 수 있는 시설을 설치·운영하는 것으로 바꾸어 “수산물 공동폐수 처리시설”로 세부과제 명칭이 변경되어 아래와 같이 2004년까지 시행되었다. 그러나 이사업도 2005년 이후 지자체의 소요예산 요구가 선행되어야 하는 관계로 향후 추진계획 수립을 못하고 있는 실정이다.

㉮ 2004년까지 추진실적 (수산물 공동폐수 처리시설)

- 2개소(경북 영덕군 축산면, 경북 포항시 구룡포읍) : ’97
- 1개소(강원 고성군 거진읍) : ’98년
- 1개소(경북 영덕군 강구면) : ’99～’00
- 2개소(경북 영덕군 축산면(’97년 보강), 강원 삼척시) : ’02
- 2개소(강원 고성군 , 강원 삼척시) : ’03
- 1개소(경북 영덕군) : ’04

㉯ 2002년까지 추진실적 (수산물 위판장)

- 25개소(전남 외 4) : 2000년 까지
- 2개소(경북 2) : 2001년

㉰ 물리화학적 전처리 시설의 검토

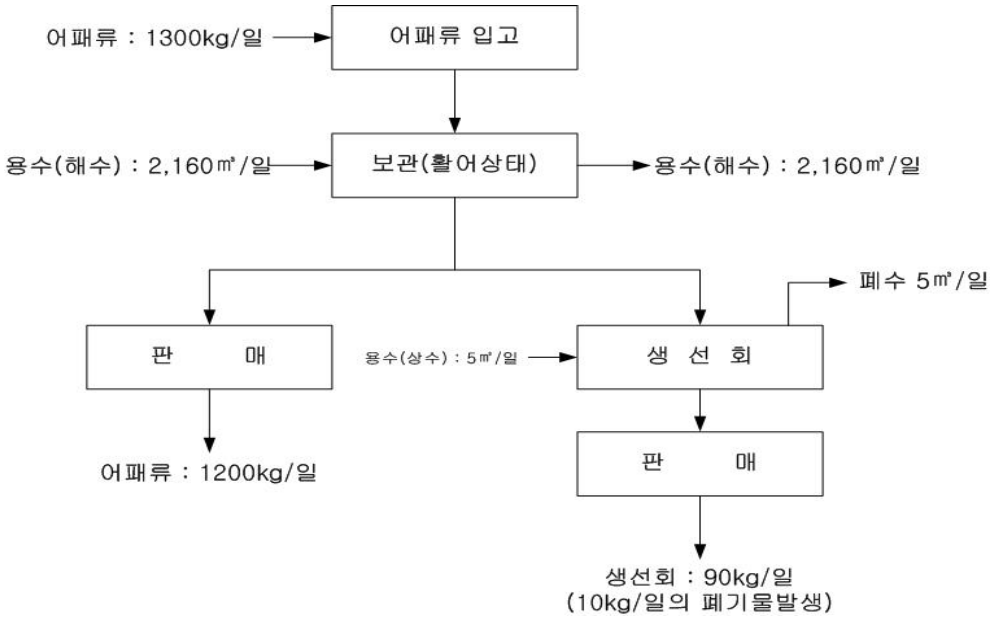
수산물 위판장 폐수처리시설 관련 정책변화를 살펴본 결과 2001년까지 수산물 공동 처리시설로 지원되어왔으나, 2001년도에 해양환경종합계획(2001～2005)수립시 육상기인 오염원의 해양유입방지를 위한 세부과제의 하나로 위판장 폐수처리 시설 지원사업으로 추진되어 왔으며, 지원 희망자가 부재로 사업이 추진되지 못하고, 2002년부터 수산물 공동폐수처리시설로 2004년까지 추진되어 왔으나, 2005년 이후 추진되지 못하고 있다.

위판장 폐수처리 시설의 물리화학적 전처리 시설을 검토하기 위하여 위판장의 처리공정과 축산폐수처리공정을 검토하였다. [그림 33]는 U시 J활어직판장의 판매 공정도를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 위판장에서는 해수를 유입하여 보관용수로 사용하고 어육절단, 활복, 세척수는 상수를 사용한다. 그런데 해수는 별도의 오염원

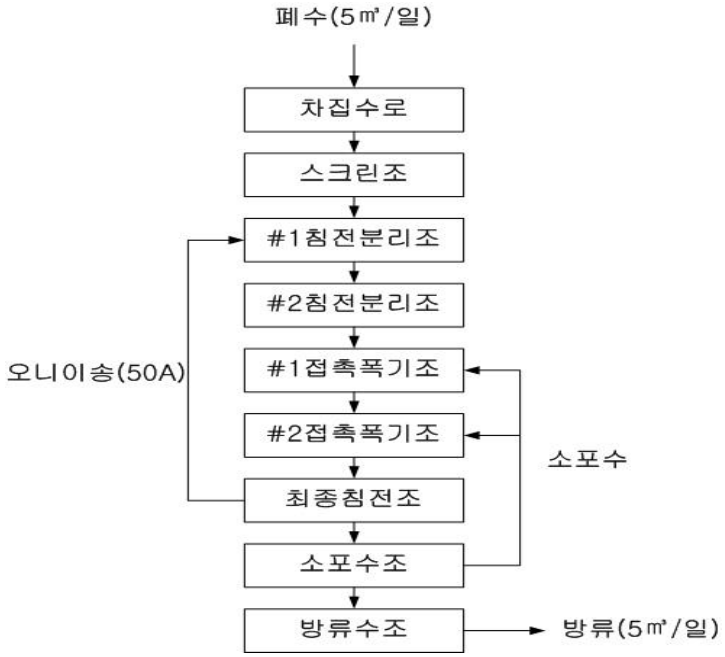
이 없이 그대로 바다로 방류되므로 폐수발생량은 상수사용량으로 한다. 폐수배출량은 5 ㎥/일이며 활어직판장이어서 주로 해수는 생선이 살아있는 상태로 유지하기 위하여 바닷물을 공급하여 사용하고 있으며 공급된 용수는 활어저장조에서 OVER FLOW되어 배수로를 통해 바다로 흘러나가게 되어 있다.

[그림 34]는 U시 J활어직판장의 폐수처리공정도를 나타낸 것으로 세척수를 차집하여 2단계 침전을 시킨 후 2단 폭기로 생물학적으로 처리한 후 침전시켜 방류하고 있었다. [표 16]에서 보면 SS의 경우 대부분 스크린과 침사조에서 50%이상 처리되고 폭기조에 소포수를 넣어 처리하는 형태를 갖추고 있는 것으로 조사되었다. 전체적으로 총질소를 제외하고 모두 86%이상의 처리효율을 나타내었다.

[그림 35]은 동해시 활어직판장 폐수처리 계통도를 나타낸 것이며, [그림 36]은 속초시 활어직판장 폐수처리 계통도를 [그림 37]는 고성군 활어직판장 폐수처리 계통도를 나타낸 것이다.



[그림 33] U시 J활어직판장 판매공정도

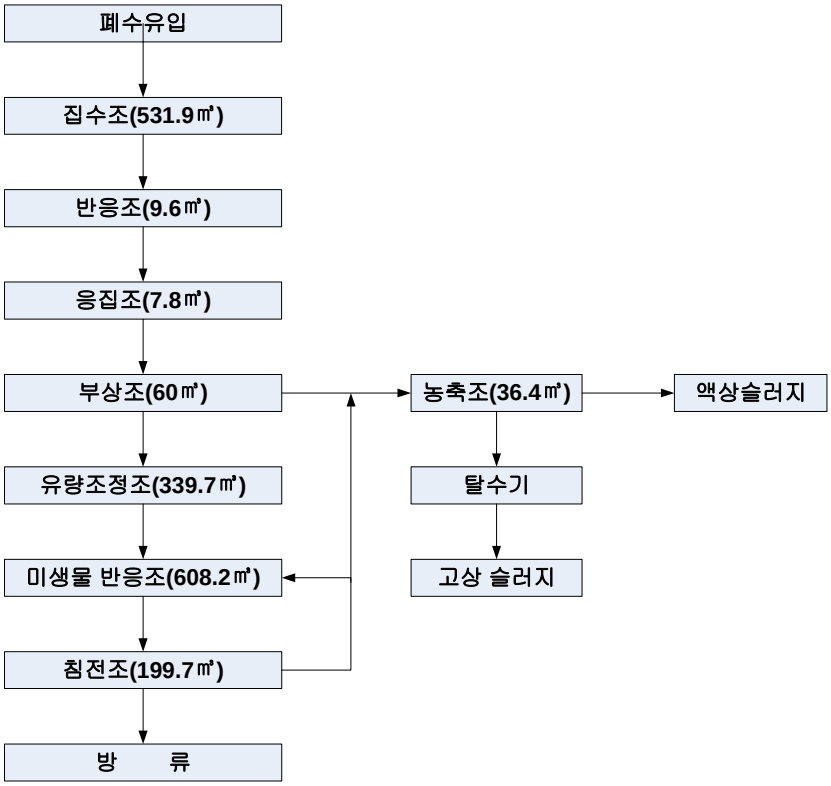


[그림 34] U시 J활어직판장 폐수처리 계통도

[표 16] J활어직판장 공정별 처리효율

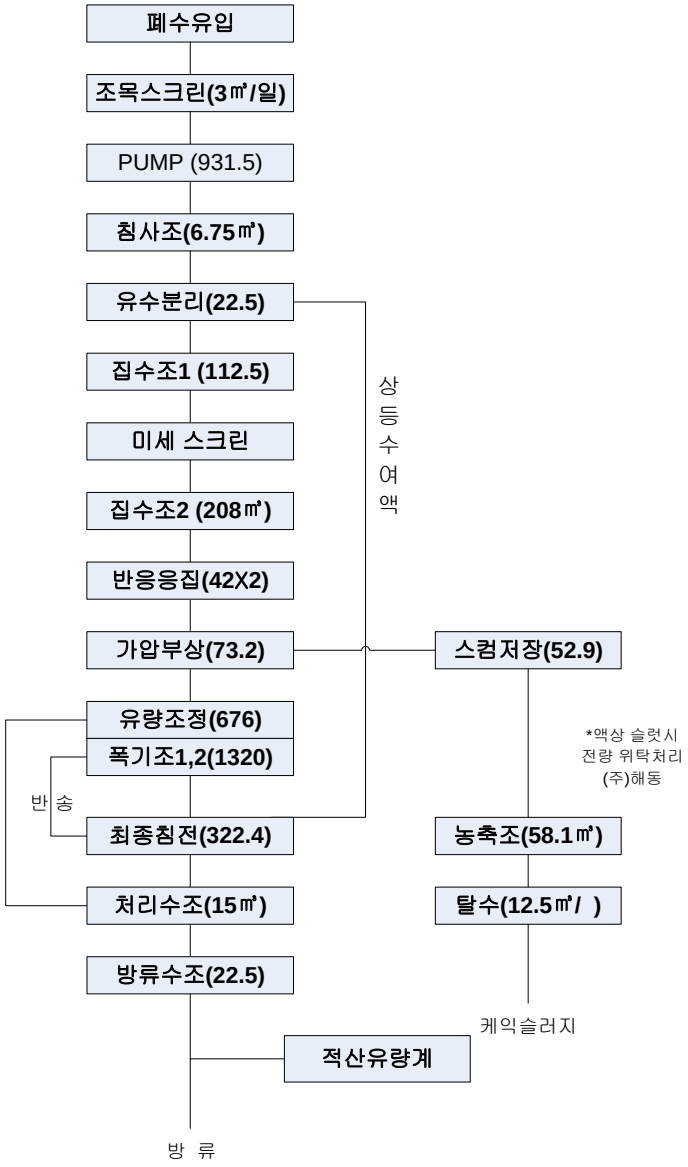
오염물질				pH	BOD	COD	SS	N-hex	총질소	대장균수
처리전 농도				7.4	475.3	489.7	513.4	68.4	60	2,5000
처리효율	1차처리	스크린조 침사&유수분리조	제거율	-	37.2	38.5	57	69.2	32.8	0
			농도	-	298.7	301.3	220.4	21.1	40.3	25,000
	2차처리	#1,2 접촉폭기조	제거율	-	43.7	60.8	22.5	-	46.9	-
			농도	-	168.3	118.1	170.9	-	21.4	25,000
		2차침전	제거율	-	62.3	48.5	60.1	77.3	39.3	28.8
			농도	-	63.4	60.8	68.2	4.8	13	17,800
		소포,소독방류조	제거율	-	-	-	-	-	-	-
			농도							
총제거율(%)				100	86.7	87.6	86.7	93	78.3	100
최종처리수의 농도				7.4	63.4	60.8	68.2	4.8	13	0
배출허용기준(가지역)				5.8-8.6	80	90	80	30	60	3,000

수산물 공동폐수처리 공정도(동해시)



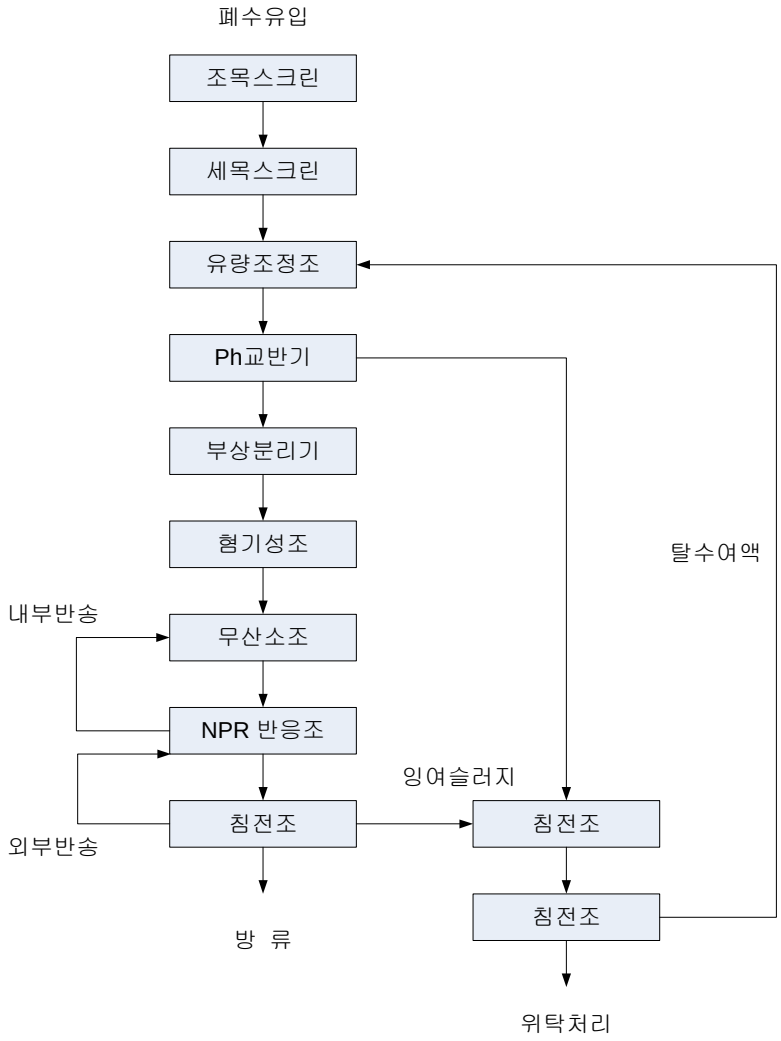
[그림 35] 동해시 활어직판장 폐수처리 계통도

폐 수 처 리 계 통 도(속초)



[그림 36] 속초시 활어직판장 폐수처리 계통도

처리공정조(고성군)



[그림 37] 고성군 활어직판장 폐수처리 계통도

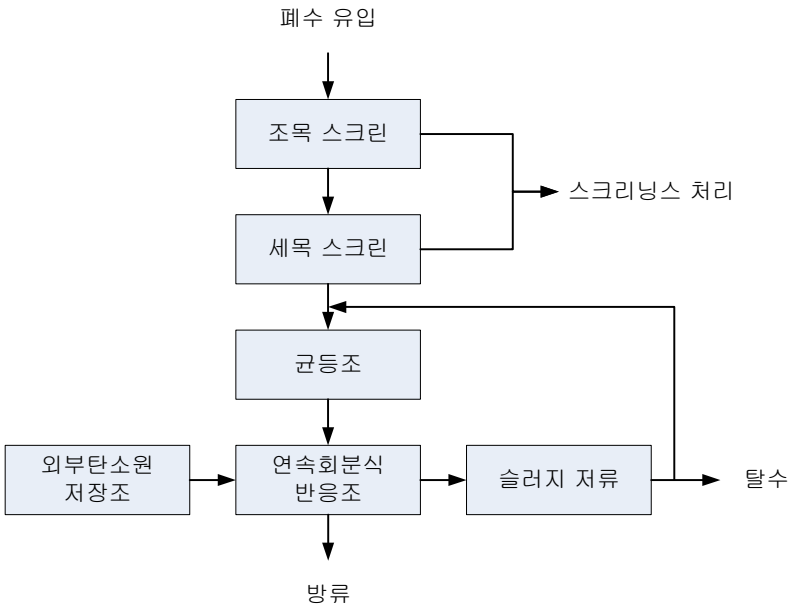
한편, 위판장 폐수와 비슷하게 공동으로 처리되는 폐수처리에는 축산폐수처리시설이 있는데, 축산폐수공공처리시설이라 함은 집단적으로 가축을 사육하는 지역의 축산농가에서 발생하는 축산폐수를 침전·분해 등의 방법으로 정화처리하는 시설을 말하는 것으로 전국 축산폐수공공처리시설의 공정은 [표 17]과 같으며, 일반적으로 전처리시설은 Rotary Screen→Screw Press→Cyclone→원심탈수기 공정으로 구성되어 있는 협잡물종합처리기, 스크린, 벨트프레스, 원심분리기, 부상조 등으로 구성되어 있다.

이상의 폐수공공처리시설의 전처리공정 및 기계식 고액분리 장치와 현재 위판장 폐수의 특성을 고려할 때, 전처리로 조목스크린, 세목스크린 및 균등조를 거친 후 SBR 반응기에서 처리하는 아래 [그림 38]과 같은 공정도가 바람직할 것으로 판단되었다. 용존성 유기물 및 영양염류가 제거되는 SBR 반응기에는 빈부하 또는 부하변동 조건에서의 미생물 농도 유지 및 질소 및 인 제거효율 향상을 위한 외부탄소

원 저장조와 공급장치가 포함된다. 탈질용 외부탄소원으로는 공업용 메탄올이 쉽게 이용될 수 있으며, 메탄올을 외부탄소원으로 이용해 폐수 $1m^3$ 당 T-N 50ppm을 추가적으로 제거할 경우, 85원 정도의 약품비(공업용 메탄올 99%, 비중 0.79, 단가 850 원/kg기준)가 소요되는 것으로 산정되었다.

[표 17] 축산폐수 공공처리시설 처리공정

처리장	처리공법	처 리 공 정
경남 김해시	BIO-CERAMIC 공법	협잡물종합처리기-원심분리기-EV탈기법-BCS조-VSEP(RO SYSTEM)-방류
경남 의령군	고효율산화법	협잡물종합처리기-호기성소화조-침전조-가압부상조-고효율산화조-침전조-하수처리장
전북 장수군	B3 (Bio Best Bacillus)	협잡물종합처리기-원심분리기-제1B3반응조-침전조-제2B3반응조-침전조-약품응집・침전-모래여과-오존산화-활성탄(A/C)흡착-방류
전북 임실군	BIOSUF	협잡물종합처리기-드럼스크린-벨트프레스탈수기-1차가압부상조-1・2차탈질・질화조-침전조-3차탈질・질화조-매쉬스크린-막분리(U/F)-2차가압부상조-모래여과-활성탄(A/C)흡착-방류
충남 공주시	HYCEM (고율 하이셈 혐기성소화공법)	조목드럼스크린-원심탈수기-저류조-고율하이셈혐기성소화-질산화폭기조-침전조-SBR조-응집・침전시설-펜톤산화시설-모래여과시설-오존접촉조-생물활성탄(BAC)시설-방류
충북 청원군	자연정화법	진동스크린-부상조-제1간헐폭기조-침전조-제2간헐폭기조(바이오리액터 및 배양조 포함)-침전조-전기산화조-규조토여과기-방류
경북 상주시	액상부식법	협잡물종합처리기-원심분리기-액상부식조(탈질시스템)-화학응집・탈수-U/F-모래여과-A/C(활성탄여과)-방류

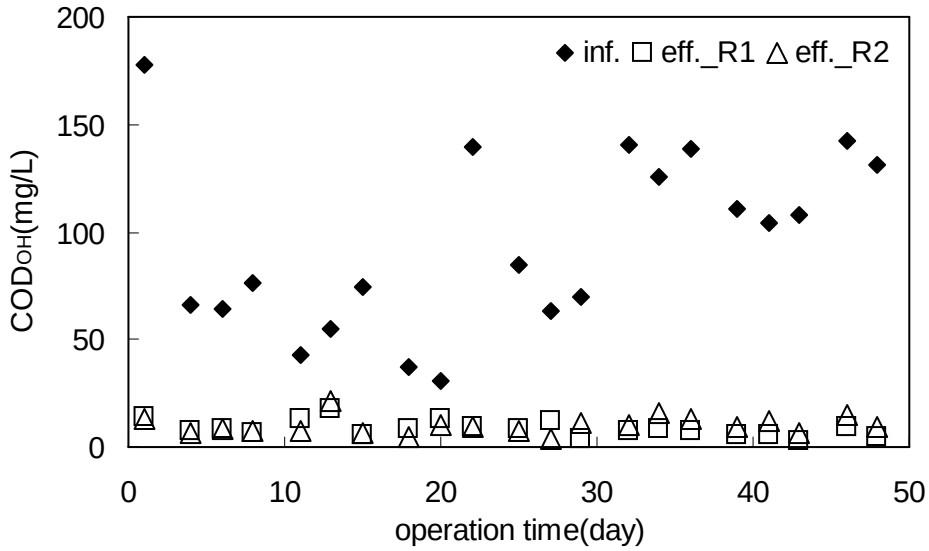


[그림 38] 위판장 폐수처리를 위한 SBR 처리공정 계통도

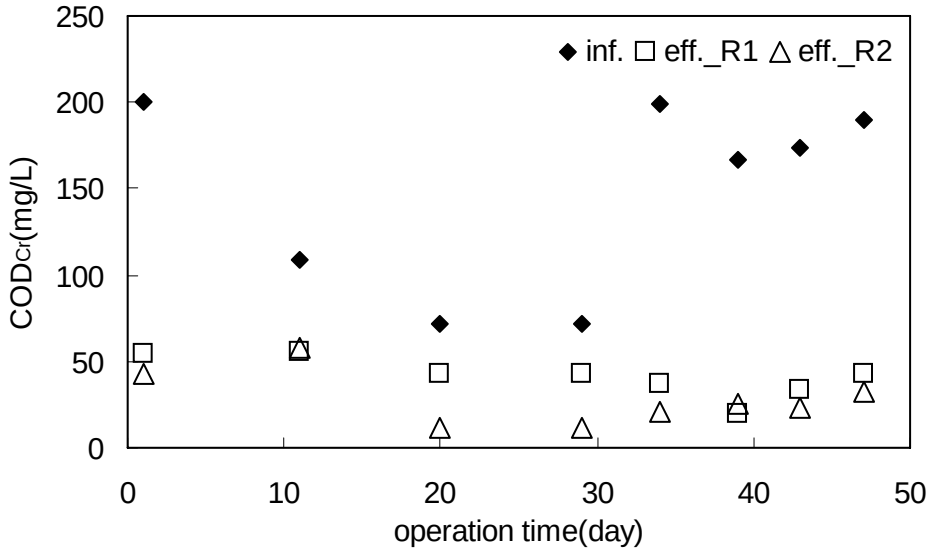
(3) Bench Scale 실험에 의한 최적 처리방안

(가) 유기물 처리

Bench Scale 규모의 SBR 공정에 의한 운전기간별 유입수와 유출수에 대한 COD_{OH} 및 COD_{Cr}추이를 [그림 39] 및 [그림 40]에 나타내었다.



[그림 39] 운전기간별 COD_{OH} 추이



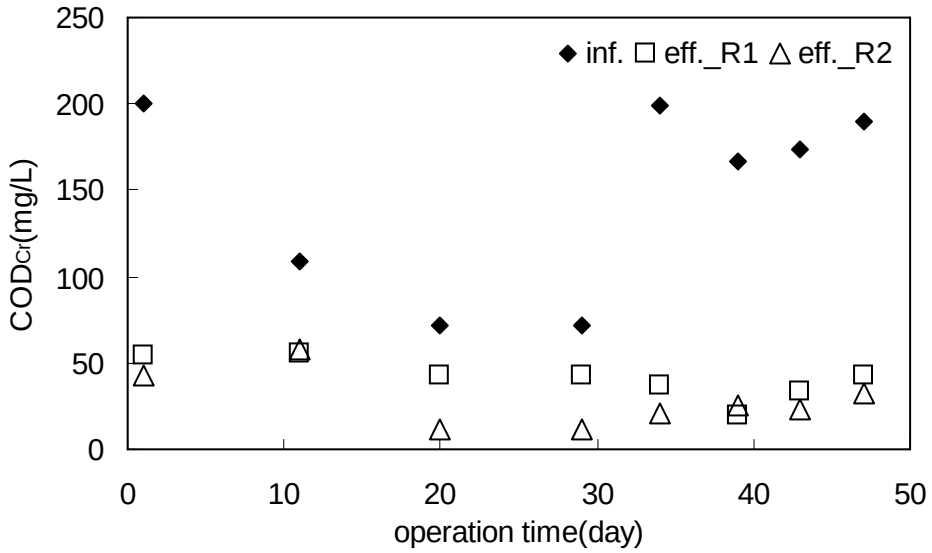
[그림 40] 운전기간별 COD_{Cr} 추이

운전기간 동안 B 위판장 폐수처리시설에서 채취된 실폐수의 COD_{OH}는 30.4~178.0 mg/L, COD_{Cr}은 72.0~200.0 mg/L의 범위로 반응기 내 미생물 농도와 처리시간을 고려한 단위 미생물 당 COD_{OH} 부하율 또한 10.0~47.0 mgCOD_{OH}/gVSS/day의 넓은 범위를 보였다.

실폐수의 처리 추이를 살펴보면, COD_{OH}의 평균 유입농도는 94.4 mg/L이며, 1번 반응기의 평균 유출농도는 8.5 mg/L, 2번 반응기는 9.9 mg/L인 것으로 나타났다. 특히 20일 이후 무산소 조건에서 외부탄소원을 투입한 1번 반응기와 외부탄소원을 투입하지 않은 2번 반응기의 방류수내 유기물 농도가 유사한 추이를 보여, 무산소 운전시 투입된 외부탄소원이 유출수의 유기물 농도에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 확인되었다.

유입농도 대비 평균 COD_{OH} 처리효율을 살펴보면 1번 반응기 87.7%, 2번 반응기 87.5%로 양호한 수준의 처리효율을 보였으며, 단위 미생물 농도 및 처리시간당 평균 COD_{OH} 처리효율을 살펴보면 1번 반응기 23.9 mgCOD/gVSS/day, 2번 반응기 26.0 mgCOD/gVSS/day인 것으로 확인되었다.

Pilot 규모의 SBR 공정에 의한 운전기간별 유입수와 유출수에 대한 BOD_5 추이를 [그림 41]에 나타내었다.

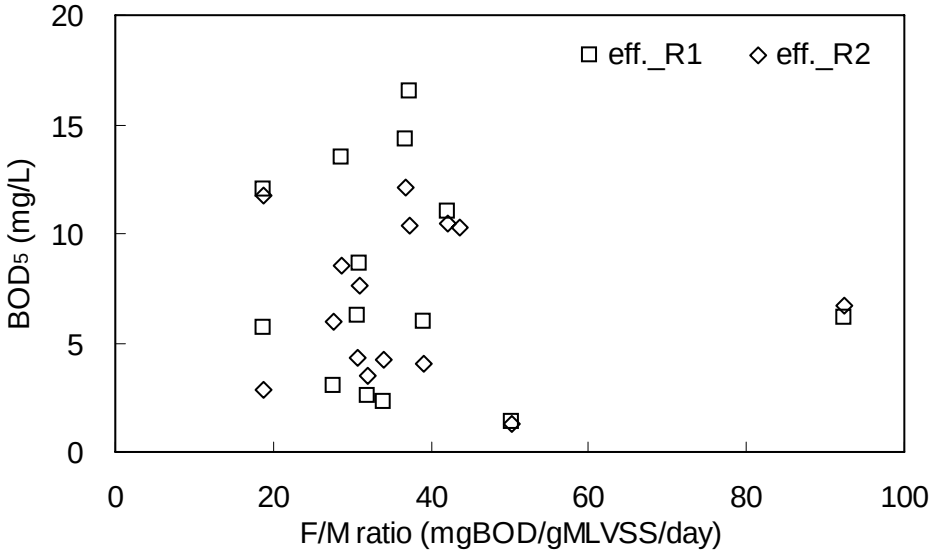


[그림 41] 운전기간별 BOD_5 추이

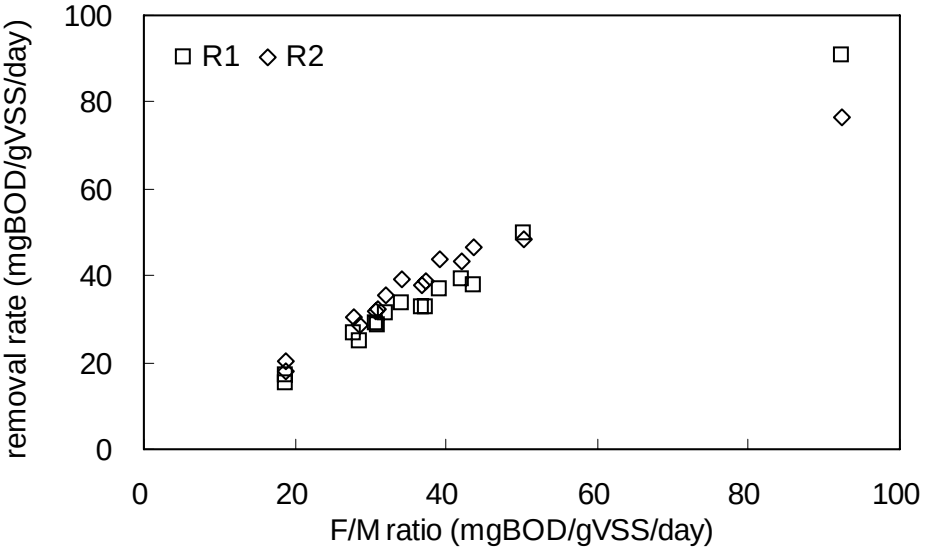
운전기간 동안 B위판장 폐수처리시설에서 채취된 실폐수의 BOD_5는 66.0~350.0 mg/L의 범위로 반응기 내 미생물 농도와 처리시간을 고려한 단위 미생물 당 BOD_5 부하율 또한 18.7~92.4 mgBOD/gVSS/day의 넓은 범위를 보였다.

유입농도 대비 평균 BOD_5 처리효율을 살펴보면 1번 반응기 92.5%, 2번 반응기 94.0%로 높은 수준의 처리효율을 보였으며, 단위 미생물 농도 및 처리시간당 평균 BOD_5 처리효율을 살펴보면 1번 반응기 35.1 mgBOD/gVSS/day, 2번 반응기 38.1 mgBOD/gVSS/day인 것으로 확인되었다.

상기 유입수의 BOD_5 농도와 반응기내 미생물 농도를 고려한 F/M 값 조건별 유출수 농도와 제거율 추이를 [그림 42]과 [그림 43]에 나타내었다.



[그림 42] F/M 조건별 BOD_5 유출수 농도 추이



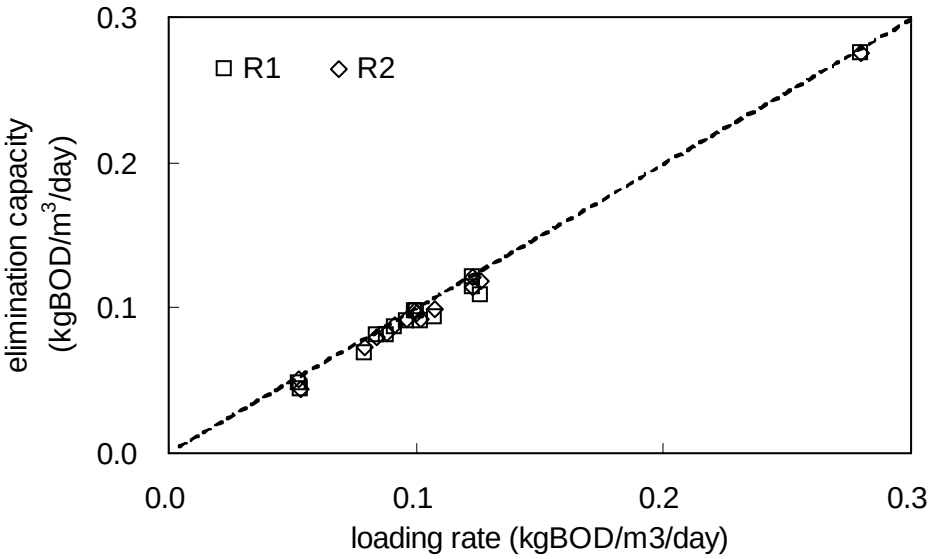
[그림 43] F/M 조건별 BOD_5 제거율 추이

정리된 결과를 살펴보면, 운전기간 중 F/M 비는 BOD_5 기준 18.7~92.4 mgBOD/gVSS/day의 범위에서 운전되었다. BOD 기준 F/M비와 제거율간의 추이를 살펴보면 20일 이후 외부탄소원이 투입된 1번 반응기는 상기 운전조건하에서 기울기가 0.99로서 유입 유기물의 대부분이 제거되는 것으로 나타났으나 2번 반응기의 경우 F/M 비 50 mgBOD/gVSS/day이상의 조건에서 기울기가 0.77로 제거율이 다소 감소한 것으로 확인되었다.

F/M 비 조건별 유출수 농도를 살펴보면, F/M 비 조건에 관계없이 두 개의 반응조 모두 유출수 농도가 20 mg/L 부근에서 안정적으로 유지됨을 확인할 수 있었다.

BOD_5 유입 농도와 반응조 용적 및 유입유량 조건을 고려하여 용적부하율(kg $BOD_5/m^3/day$)로 정리하였으며, 이러한 용적부하율 변화에 따른 BOD_5 제거율을 [그림

44]에 나타내었다.

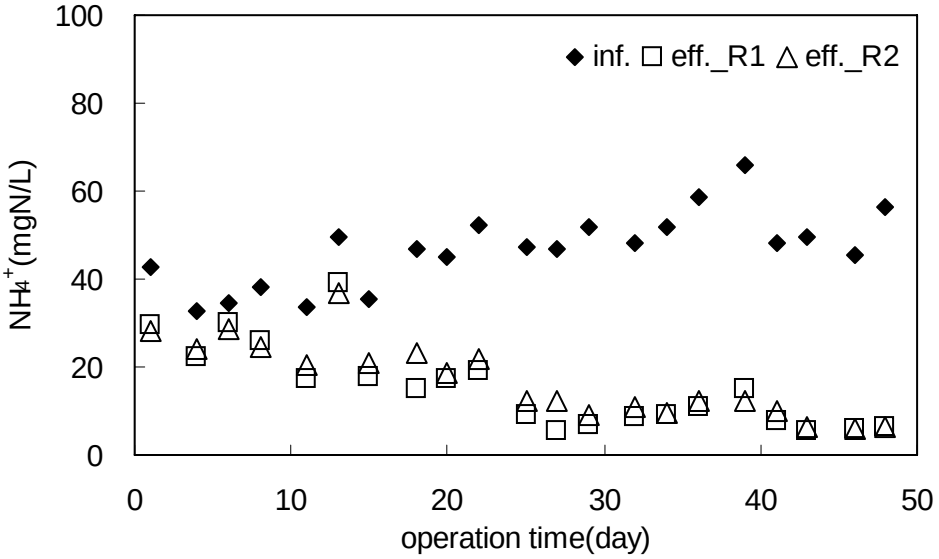


[그림 44] BOD_5 용적부하별 BOD_5 제거율 추이

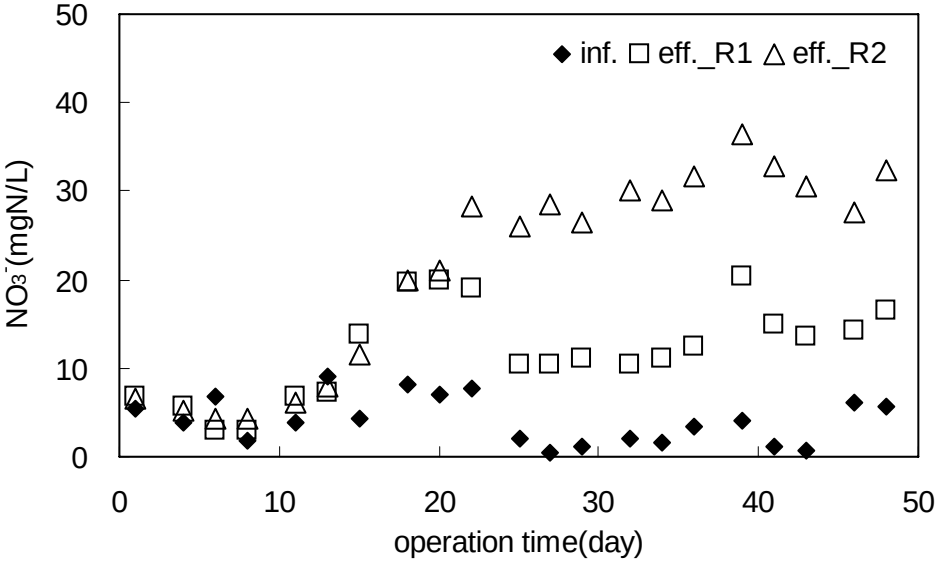
정리된 결과를 살펴보면, BOD_5 용적부하는 0.05~0.28 kg BOD/m^3/day의 범위로 운전되었으며, 용적부하율(kg BOD_5/m^3/day) 증가에 따라 제거율(kg BOD_5/m^3/day) 또한 일정한 증가추이를 보였다. 이러한 증가 추이는 기울기 1인 직선과 거의 유사한 기울기를 보여, 본 실험 조건인 0.28 kg BOD/m^3/day이하의 조건에서는 용적부하 조건에 상관없이 일정한 제거율을 보여주는 것으로 확인되었다.

(나) 영양염류 처리

Pilot 규모 공정에 의한 유입수 및 운전 조건 변화에 따른 운전기간별 NH_4^+-N과 NO_3^--N 추이를 [그림 45]와 [그림 46]에 나타내었다.



[그림 45] 운전기간별 NH_4^+-N 추이



[그림 46] 운전기간별 NO_3^--N 추이

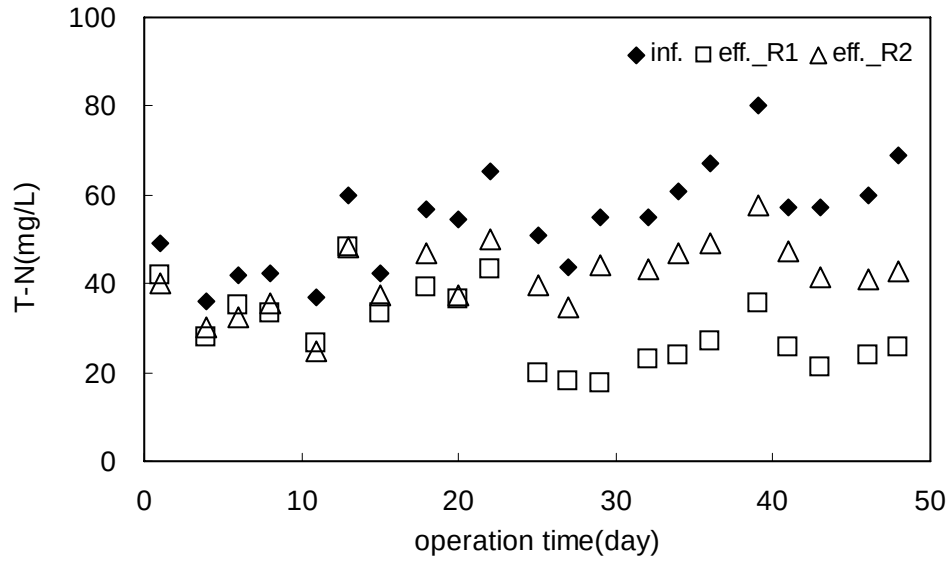
실험결과를 살펴보면 유입수내 NH_4^+-N는 32.7~65.9 mgN/L의 범위를 보였으며, 평균 46.7 mgN/L로 유입되어 1번 반응기에서 평균 15.4 mgN/L, 2번 반응기에서 평균 16.9 mgN/L의 유출농도를 보였다.

이러한 결과는 초기 15일간의 낮은 질산화율에 기인된 것으로 일정시간의 적응기간을 거쳐 30일 이후에는 1번 및 2번 반응기 모두 질산화율이 80%를 상회하는 것으로 확인되었다. 생물학적 질소 처리에서 pH조절 및 미생물의 탄소원으로 이용되는 알카리도를 검토한 결과 486 $mgCaCO_3$/L의 고농도로 유입되었으며, 질산화 및 탈질과정으로 통해 평균 5.3 $gCaCO_3/gN_{removed}$의 소모율을 보였으며 이는 45 mgN/L 정도의 질산화를 통한 소모와 15 mgN/L 정도의 탈질을 통한 보상에 의한 것으로 확인되었다.

NO_3^--N 실험결과를 살펴보면 유입수내 NO_3^--N는 0.5~9.1 mgN/L의 범위로 유입되었으며, 초기 15일간의 낮은 질산화율에 따라 NO_3^- 농도가 10 mgN/L 이하로 유지되었으나 이후 질산화미생물의 활성 증가와 무산소 조건에서의 탄소원 부족에 의해 30 mgN/L까지 증가하였다. 무산소 조건에서 3.4 g/gN의 외부 탄소원을 추가로 주입한 1번 반응기의 경우 생물학적 탈질과정으로 통해 10~20 mgN/L 수준을 유지할 수 있는 것으로 확인되었다.

NO_2^--N의 경우, 초기 20일 간 2~4 mgN/L 수준으로 축적되는 경향을 보였으나, 20일 이후부터 1 mgN/L이하로 유지되어 완전질산화가 진행되는 것으로 관찰되었다. 이러한 추이는 NH_4^+ 제거율 변화 시점과 일치하는 경향을 보여, NO_2^-의 축적이 질산화균의 적응 또는 질산화균 농도 증가 등과 관련이 있을 것으로 판단된다.

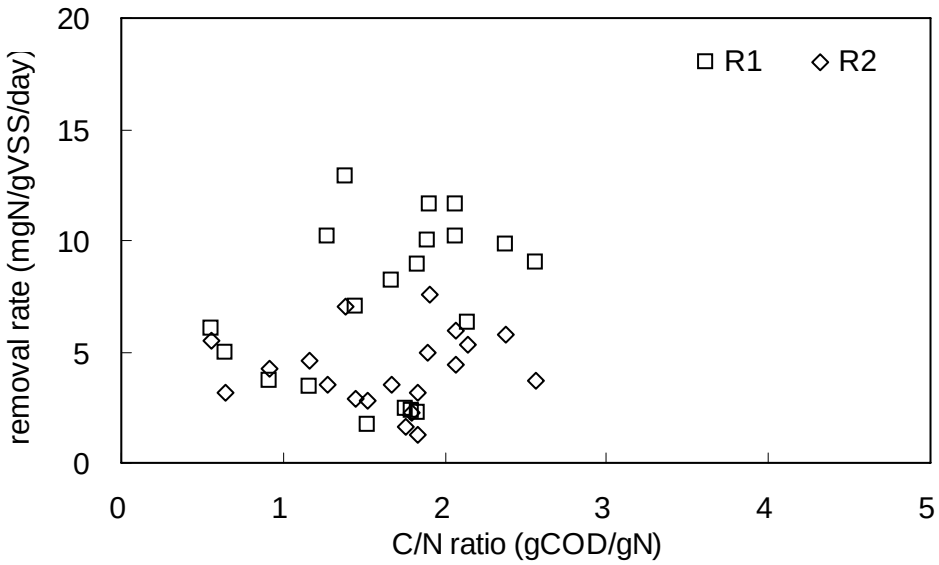
Pilot 규모 공정에 의한 유입수 및 운전 조건 변화에 따른 운전기간별 T-N 추이를 [그림 47]에 나타내었다.



[그림 47] 운전기간별 T-N 추이

실험결과를 살펴보면 유입수내 T-N는 36.0~80.0 mgN/L의 범위를 보였으며, 평균 54.3 mgN/L로 유입되어 1번 반응기에서 평균 32.4 mgN/L, 2번 반응기에서 평균 38.6 mgN/L의 유출농도를 보였다. 평균 제거율은 1번 반응기 43.0%, 2번 반응기 23.0%로 확인되었으며, 이러한 낮은 T-N 제거율의 원인으로는 극도로 낮은 C/N 비에 기인된다고 판단되었다. 따라서 1번 반응기의 경우 20일 이후 무산소 조건에서 외부탄소원을 투입하였으며, 그 결과 유출수 내 T-N 농도가 20 mgN/L 수준으로 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 30일 이후의 T-N 제거율은 1번 반응기 60.4%, 2번 반응기 25.9% 인 것으로 확인되었다.

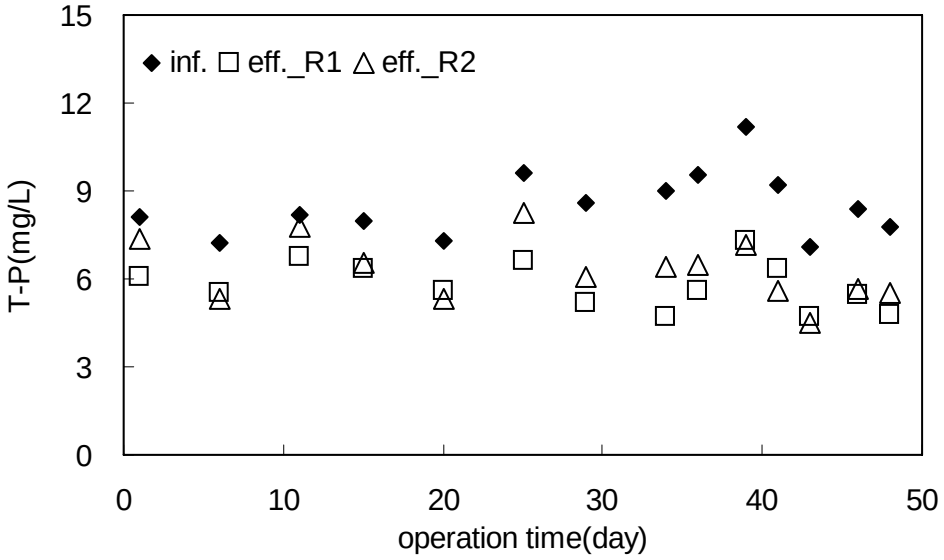
Pilot 규모 공정에 의한 유입수 및 운전 조건 변화에 따른 C/N 비별 T-N 추이를 [그림 48]에 나타내었다.



[그림 48] C/N 비별 T-N 제거율 추이

정리된 결과를 통해 C/N 비는 평균 3.3으로 운전되었으며, 1번 반응기에서 6.9 mgN/gVSS/day, 2번 반응기에서 4.1 mgN/gVSS/day의 제거율을 보였다. 외부탄소원 주입시기를 기준으로 제거율 추이를 살펴보면, 외부탄소원 주입이전 1번 반응기 4.7 mgN/gVSS/day, 2번 반응기 3.3 mgN/gVSS/day이었으나, 외부탄소원 주입이후 1번 반응기 10.5 mgN/gVSS/day, 2번 반응기 5.3 mgN/gVSS/day의 차이를 보였다. 유입농도가 급변하는 조건에서 시료 채취 및 실험 주기 차에 따른 영향을 고려할 수 있으나, T-N 제거율은 C/N 값에 큰 영향을 받는 것으로 확인되었다.

Pilot 규모 공정에 의한 유입수 및 운전 조건 변화에 따른 운전기간별 T-P 추이를 [그림 49]에 나타내었다.



[그림 49] 운전기간별 T-P 추이

실험결과를 살펴보면 유입수내 T-P는 7.1~11.2 mgP/L의 범위를 보였으며, 유입된 T-P 중 PO_4^{3-}가 88%정도를 차지하는 것으로 확인되었다. 평균 8.5 mgP/L로 유입된 T-P는 1번 반응기에서 평균 5.8 mgP/L, 2번 반응기에서 평균 6.3 mgP/L의 유출농도를 보였다. 평균 제거율은 1번 반응기 31.6%, 2번 반응기 26.0%로 확인되었으며, 이러한 낮은 T-P 제거율의 원인으로는 극도로 낮은 C/P 비와 40일로 고정된 다소 긴 SRT에 기인된다고 판단되었다.

1번 반응기의 경우 20일 이후 제거율이 40%까지 높아지는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 탈질을 위해 무산소 조건에서 투입된 외부탄소원의 영향인 것으로 판단되었다.

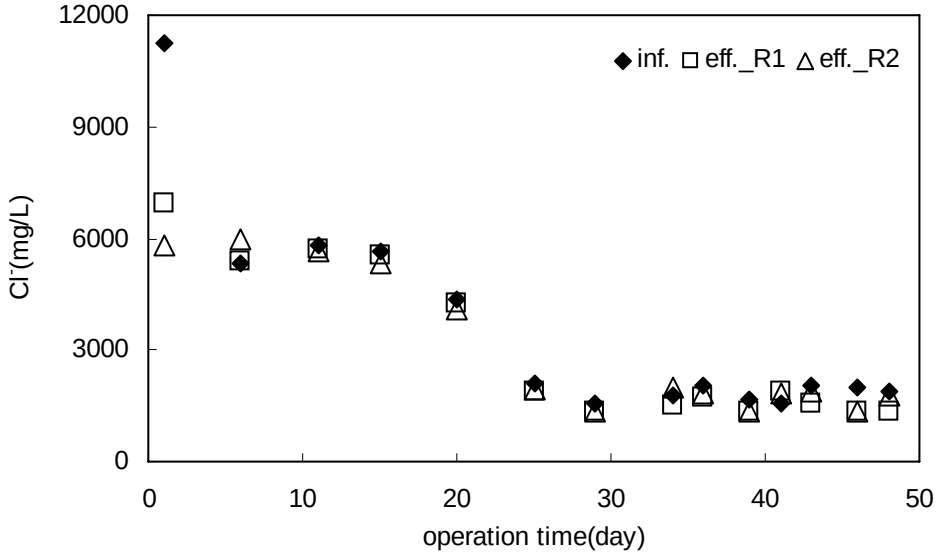
(다) 기타 운전결과

Pilot 공정은 미생물 체류시간(SRT) 40일을 기준으로 운전되었으며, 운전기간 동안 Pilot 공정 내 염분농도 및 미생물 농도 추이를 [그림 50] 및 [그림 51]에 나타내었다.

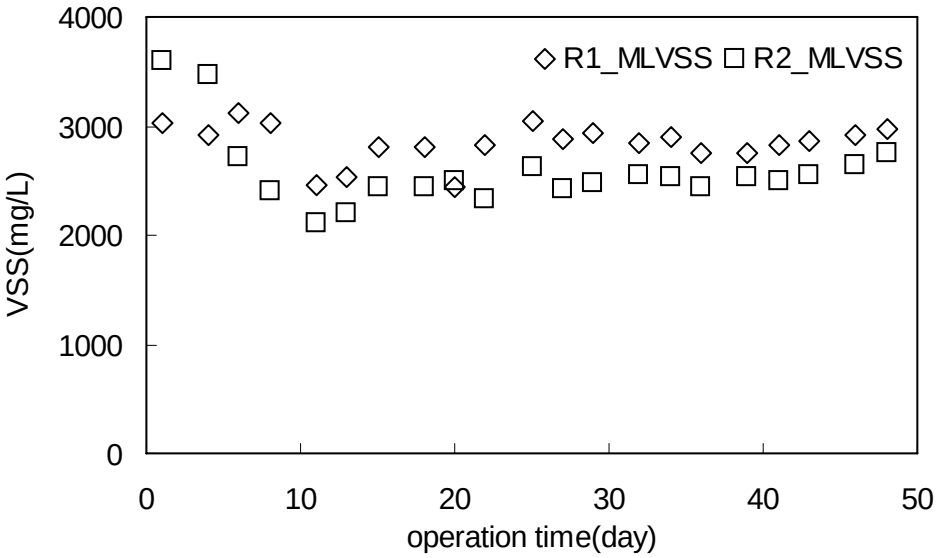
결과를 살펴보면, 반응기 내 Cl^- 농도는 운전 초기를 제외하고 4000~6000 mg/L 수준을 유지하는 것으로 확인되었다. 이러한 농도 범위는 1차년도의 실험실 규모 실험 시 확인된 저해 영향이 미미한 0.5%농도 수준으로써, 위판장 폐수의 생물학적 처리에 있어 안정적인 운전을 가능하게 할 것으로 판단된다.

반응기 내 미생물 농도는 MLVSS를 통해 확인하였다. 결과를 살펴보면, 두 개의 반응기 모두 비슷한 미생물 농도 추이를 보였으며, 2600 mg/L정도를 유지하였다. 하지만 외부탄소원이 투입된 1번 반응기의 20일 이후 결과를 살펴보면, 점차 증가하는 추이를 보이며 3000 mg/L수준에서 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 원인으로는 무산소 조건에서 외부탄소원 투입에 따른 탈질 반응의 진행으로 인해 Cell lysis를 최소화시킨 결과

인 것으로 판단된다.



[그림 50] 운전기간별 Cl^- 추이



[그림 51] 운전기간별 미생물 농도 추이

(3) 결과 및 결론

수산물 위판장 폐수처리기술의 실용화 연구를 위해 수산물 위판장 폐수처리 공정의 최적화, SBR 공법과 연계 가능한 물리화학적 전후처리 검토 및 Bench Scale 반응기(30L 반응기 2기)를 이용한 최적처리 방안에 대하여 연구하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

(가) 수산물 위판장 폐수처리 공정의 최적화를 위해 1차년도의 염분농도, C/N비, 혐기/무산소/혐기 시간에 자료를 활용하여 신경망모델을 개발하였는데, 유입수의 유기물과

질소의 농도에 상관없는 데이터의 변화를 정확하게 나타내어 SBR을 이용한 위판장 폐수처리시설의 설계 및 운영에 활용이 가능한 것으로 나타났다.

(나) 최적운영조건을 파악하기 위하여 염분농도, 유기물농도 및 폭기시간을 요인으로 하는 요인분석 실험설계법에 의해 총 10개 (2^3 full factorial design)의 실험을 실시하였으며, 실험결과 C/N비와 염분농도 폭기시간 등의 순서로 처리효율에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

(다) SBR 공법과 연계 가능한 물리화학적 전후처리 공정의 검토는 국립환경연구원의 위판장 폐수처리 시설 자료와 축산공동폐수처리 공정 및 위판장 폐수 특성을 고려하여 결정하였는데, 조목스크린과 세목스크린 설치한 후 균등조를 설치하여 유량 및 농도를 조절시킨 후 SBR 반응기로 주입하는 처리공정이 바람직 할 것으로 판단되었다.

(라) 30L 반응기 2기를 이용하여 최적처리 방안 도출을 위한 실험을 실시하였는데, 유기물의 부하율은 18.7~92.4 mgBOD/gVSS/day였으며, 10 mg/l이하의 안정된 처리를 보여 주었다. 그러나, 질소의 경우 평균제거율이 1번 반응기 43.0%, 2번 반응기 23.0%로 매우 낮게 나타났으나 외부탄소원 주입에 의하여 60.4%의 제거율을 얻을 수 있어, 질소 제거를 위한 외부탄소주입 시설이 필요한 것으로 나타났다.

제 2 절 폐기물 처리 분야

1. 폐기물 발생량 및 발생특성 파악.

위판장에서 발생되는 어류 손질 폐기물의 발생량 및 발생특성 파악을 위하여 군산시 위판장을 대상으로 조사를 실시하였다. 폐기물 배출특성은 2005년 1월부터 실시된 젖은 쓰레기 직매립 금지를 전후로 현격하게 변화하였다. 즉, 군산시 위판장의 경우 2005년 2월까지는 상인들이 쓰레기 종량제 봉투에 담아 버리면 군산시에서 수거하여 매립을 통하여 처리하였으나 2005년 3월 1일부터는 각 상점에서 배출되는 어류 손질 폐기물은 상가 번영회에서 계근 후 수거하면 지역 음식물 쓰레기 퇴비화 업체에서 이를 수거하여 다른 음식물 쓰레기와 함께 퇴비화하고 있었다. 2004년 8월부터 2005년 3월 사이에 10회 조사한 수산폐기물 발생량 분포는 [표 18]과 같다. 조사는 선어 판매장 2군데(A, B)와 건어 판매장 1군데(C)를 대상으로 실시하였다. 표에서 볼 수 있다시피 무작위로 선정한 어류 판매점 3군데에 발생된 폐기물은 1일 평균 약 10.7Kg이었으나 조사 일에 따라 상당히 큰 변폭을 나타내었다. 선어 판매장의 경우 생선 판매시 손질하는 과정에서 배출되는 머리, 내장, 지느러미, 껍질 등이 주종을 이루며 수분함량이 상당히 높았다. 선어 판매장에서 배출되는 폐기물의 양은 3.5~18.3 Kg/d의 분포를 나타내어 일간 배출량의 차이가 5배 이상 나타나 변폭이 큰 것으로 나타났다. 건어물 판매점에서는 대부분 생선을 말리기 위하여 손질하는 과정에서 발생되는 폐기물로 주로 내장이 주종을 이루었다. 발생량 분포는 4.9~28.0 Kg/d로 평균 10.6 Kg/d를 나타내어 선어 판매장의 폐기물 배출량과 거의 유사하였다.

[표 18] Production of fish offal from fish market(Kg/d)

	A	B	C
1회	10.9	14.0	15.0
2회	11.0	15.0	28.0
3회	14.5	18.3	4.9
4회	10.5	6.3	5.0
5회	11.1	6.5	8.3
6회	16.4	4.2	11.0
7회	12.9	9.6	1.8
8회	13.0	7.8	9.0
9회	15.8	4.5	5.1
10회	13.7	3.5	18.0
Ave.	12.98	8.97	10.6

한편, 군산지역 또는 전국의 수산폐기물 발생특성을 조사하기 위하여 수산물 위판량을 기초로 폐기물 발생량을 추정하였다. 먼저 우리나라 연도별 주요 위판 어종과 어종별 판매량은 [표 19]와 같다.

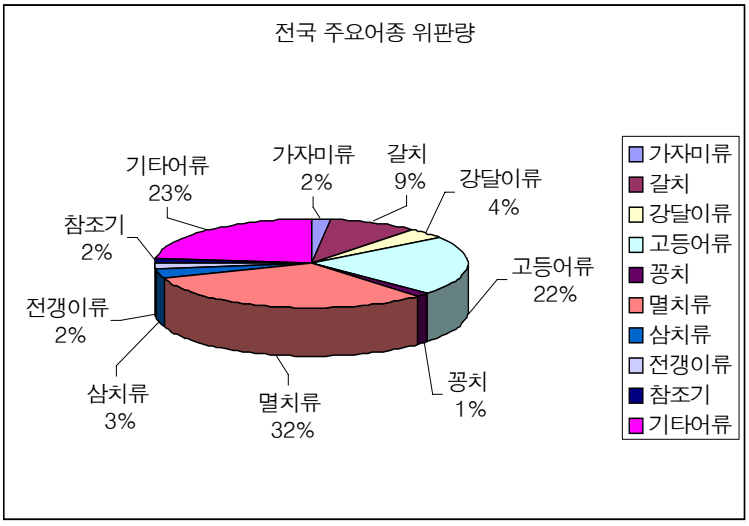
[표 19] 전국 년도별 주요 위판어종

단위 : ton

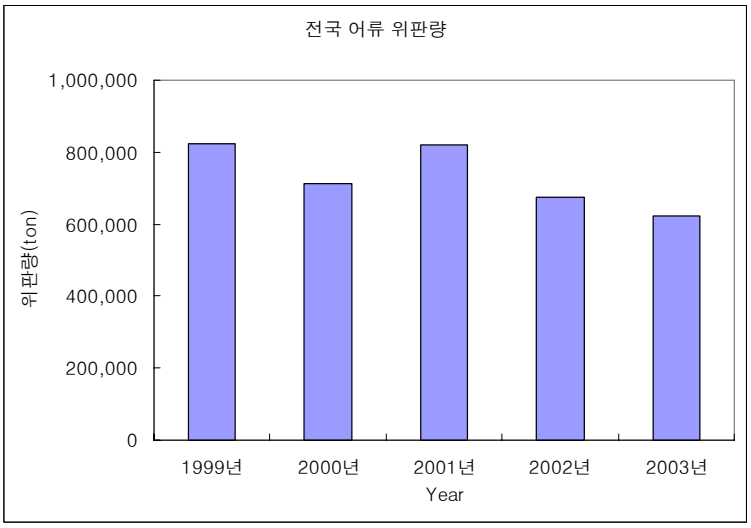
어종 / 년도	가자미류	갈치	강달이류	고등어류	꽁치	멸치류	삼치류	전갱이류	참조기	기타어류	계
1999년	17,568	62,816	50,393	177,041	11,177	223,751	19,065	12,364	12,993	235,608	822,776
2000년	13,667	76,502	31,291	143,002	19,611	193,049	25,271	19,448	19,550	171,733	713,124
2001년	12,811	79,520	24,393	203,011	5,267	265,864	25,373	15,455	7,947	178,917	818,558
2002년	12,241	59,948	19,687	141,707	6,938	222,598	25,758	24,294	10,939	149,223	673,333
2003년	10,940	62,801	18,893	122,056	1,389	245,309	22,312	19,519	7,099	113,050	623,368
계	67,227	341,587	144,657	786,817	44,382	1,150,571	117,779	91,080	58,528	848,531	3,651,159

[표 19] 및 [그림 52]에서 알 수 있는바와 같이 위판량으로 볼 때 가장 많은 부분을 차지하는 어종은 멸치, 고등어, 갈치인 것으로 나타났다. 그러나 통상 멸치의 경우 판매시 별도의 손질 없이 그대로 판매되거나 그렇지 않으면 건조 등의 과정을 거치는 것 정도이기 때문에 폐기물로 발생되는 부분은 거의 없다. 따라서 폐기물 발생량 측면에서 보면 고등어와 갈치가 가장 중요한 어종이다. [그림 54]에서 보다시피 전체 위판량의 연도별 변화는 그리 크지 않는 것으로 판단된다.

한편, 본 연구에서 시료채취 및 연구를 주로 수행한 군산시에서의 어류 위판량이 나타내는 대표성을 검증하기 위하여 전국 및 전북의 위판량과 군산시에서의 위판량을 먼저 비교하였다.



[그림 52] 전국 주요 위판 어종의 상대적 분포



[그림 53] 연도별 어류 위판량 변화

[표 20]에서 볼 수 있는바와 같이 위판량과 위판금액을 기준으로 평가할 때 군산이 우리나라 전체에서 차지하는 비율은 대단히 미미한 것으로 나타나 위판량과 위판금액을 기준할 때 각각 3.3%, 3.4%정도의 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 그러나 전북 내에서의 군산시 점유도는 매우 커서 전북 전체 위판량의 83%, 위판금액의 92%를 군산이 차지하는 것으로 나타나 전북 도내 수산물 소비량의 대부분이 군산시 위판장에서 판매되는 것으로 나타났다.

군산에서 주로 위판되는 어류의 종류와 연도별 위판량을 표로 나타내면 [표 21]과 같다.

[표 20] 년도별 주요 위판어종과 위판량

단위 : ton

		1999	2000	2001	2002	2003	계
위판량	전국	822,776	713,124	818,558	673,333	623,368	3,651,159
	전북	20,059	22,345	26,195	26,276	48,788	143,663
	군산	16,866	18,120	23,159	24,218	37,354	119,717
위판금액	전국	1,205,776	1,293,695	1,419,978	1,321,102	1,129,629	6,370,180
	전북	41,094	48,788	47,693	49,751	48,788	236,114
	군산	34,512	37,354	65,298	43,859	37,354	218,377

[표 21] 군산시 주요 어종 판매량

단위 : kg

년도 / 어종	1999	2000	2001	2002	2003	계
갈치	1,164,600	726,921	1,146,921	347,972	676,630	4,063,044
기타조기	2,103,415	-	-	194,979	-	2,298,394
참조기	-	1,389,791	549,425	397,208	507,930	2,844,354
강달이	1,075,380	1,099,651	-	-	-	2,175,031
조피볼락	173,280	-	326,966	669,578	503,385	1,673,209
기타볼락	-	731,495	449,332	-	-	1,180,827
부세	221,540	281,479	349,650	267,119	-	1,119,788
서대류	-	360,072	375,861	-	-	735,933
멸치류	-	4,354,295	4,960,295	9,735,227	3,022,880	22,072,697
맹퉁어류	-	748,494	739,580	-	-	1,488,074
삼치류	-	-	309,830	501,835	517,155	1,328,820
양태	-	-	-	232,001	-	232,001
병어	505,860	-	-	-	-	505,860
붕장어	199,935	-	-	-	-	199,935
홍어	365,930	-	-	-	-	365,930
갯장어	-	309,335	-	-	-	309,335
아귀	-	-	-	398,317	261,264	659,581
농어	-	-	-	-	185,768	185,768
뱅어류	-	-	-	-	313,868	313,868
노래미	-	-	-	-	329,226	329,226
기타어류	9,622,942	5,212,589	11,998,998	9,873,707	1,167,815	37,876,051

표에서 알 수 있다시피 조사연도인 99년~03년의 5년 사이에 위판되는 어종의 변화가 상당히 커서 주 판매어종을 결정하기가 쉽지 않으나 가장 꾸준히 그리고 많이 위판되는 어종은 멸치, 갈치, 조기, 볼락류, 삼치류 등으로 전국적 분포와는 좀 다른 경향을 나타내었다.

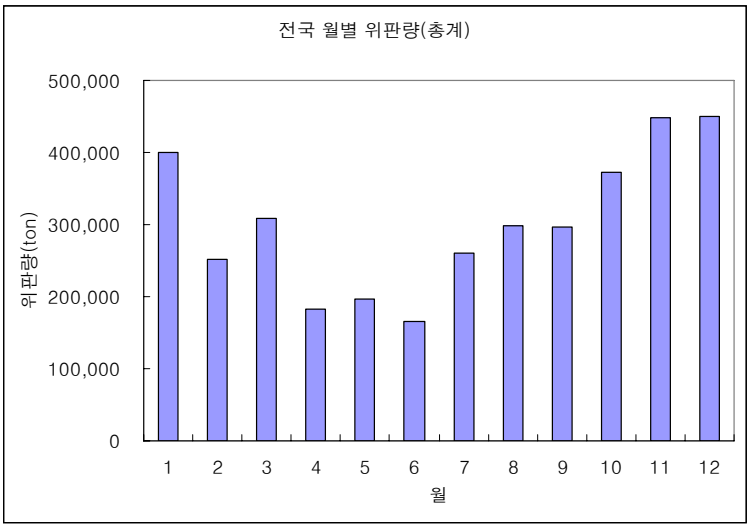
본 연구에서는 어류를 선어로 판매할 때 손질시 나오는 부산물이 주 처리대상이므로 시장에서 가장 많이 팔리면서 폐기물 발생이 많이 나오는 어종으로 갈치와 고등어의 손질시 나오는 부산물과 군산시 위판장에서 수거하여온 어류 내장을 생분해도 실험대상으로 선정하였다.

한편, 월별 폐기물 발생량 추이를 산정하기 위하여 전국을 기준으로 월별 어류 위판량을 표로 나타내면 [표 22]과 같고 이를 그래프로 표시하면 [그림 54]과 같다.

[표 22] 전국 위판장 월별 어류 위판량(99~03년)

단위 : ton

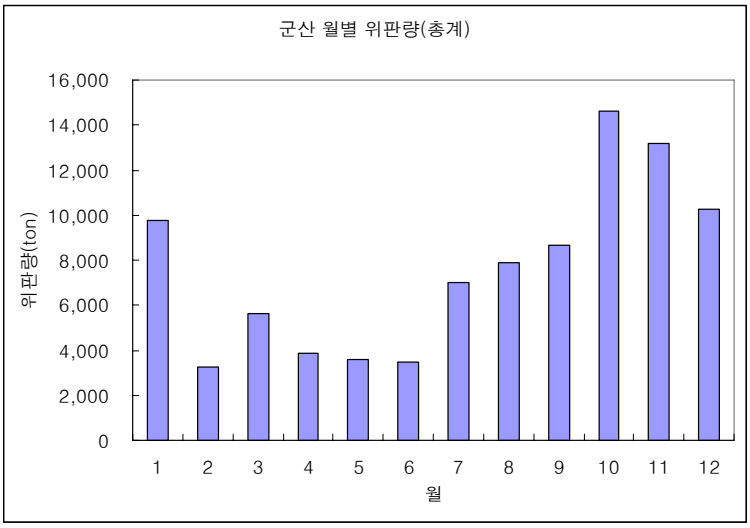
년도 / 월	1999	2000	2001	2002	2003	계
1	114,849	86,630	60,956	69,586	68,661	400,682
2	54,789	49,450	49,221	55,122	42,857	251,439
3	65,867	63,450	76,795	55,166	47,203	308,481
4	44,890	36,869	44,181	34,253	23,218	183,411
5	50,371	38,700	39,935	34,156	33,179	196,341
6	43,444	35,214	30,142	25,316	30,643	164,759
7	64,593	37,223	63,903	38,998	54,808	259,525
8	62,507	48,082	76,967	54,748	55,797	298,101
9	55,656	52,926	79,628	59,839	47,965	296,014
10	73,793	73,565	94,600	66,330	63,360	371,648
11	76,759	92,517	101,023	93,274	84,124	447,697
12	103,368	86,978	101,208	86,546	71,552	449,652



[그림 54] 전국 월별 어류 위판량 변화(99~03년)

군산시의 최근 5년간 어류 위판량을 기준으로 월별 위판량을 살펴보면 [그림 55]와 같다.

이를 [그림 54]와 비교하여 보면 다소 상이하기는 하나 하절기로 갈수록 위판량이 줄고 동절기로 갈수록 어류 소비량이 증가하는 것을 알 수 있다.



[그림 55] 군산시 월별 어류 위판량 비교

위판된 어류는 선어 상태로 판매되기도 하고 건어 상태로 판매되기도 하지만 폐기물 발생의 기본적인 패턴은 위판량 변화 추이와 유사하리라 판단된다. 이를 통하여 생선 폐기물의 경우 월별 또는 계절별 폐기물 발생량의 변화폭이 매우 큰 것으로 나타나 월별 기준으로 3배 이상의 편차를 나타내는 것으로 나타났다. 따라서 발생되는 량을 현장 처리하는 장치를 제작할시 적정 용량을 산정하기가 대단히 힘들다는 것을 알 수 있었다.

2. 폐기물 발생특성 파악을 위한 설문조사 내용 및 결과

가. 설문조사 방법

위판장에서 발생되는 폐기물의 처리 및 관리방안을 모색하기 위하여 위판장 상인을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문 조사 대상지는 전라북도 군산시 해망동의 선어와 건어를 다루는 수산물 시장의 상점을 대상으로 조사를 하였으며 설문 기간은 2004년 10월에 실시하였다. 설문내용은 위판장 폐기물에 대한 질문과 상인들의 재활용분리수거에 대한 의식조사 설문 등으로 구성되었다. 설문 문항 수는 20문항으로 총 80곳을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 조사는 상가에 직접 방문하여 설문조사에 응해주는 상가에 한하여 1:1 면접을 기본으로 하였는데 설문에 응해주지 않는 곳이 많아 설문대상 상점 80곳 중 설문에 응해준 56곳을 면담을 통하여 조사하였다.

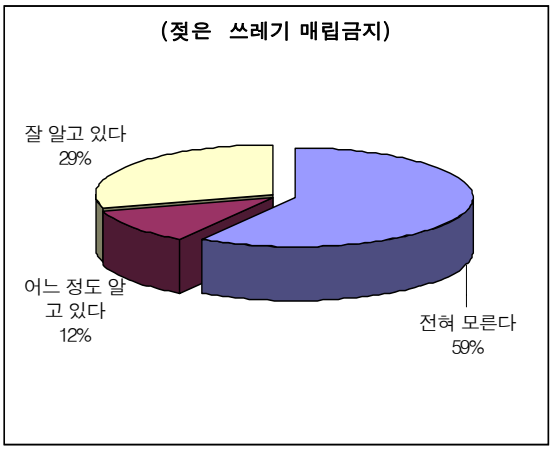
나. 설문내용

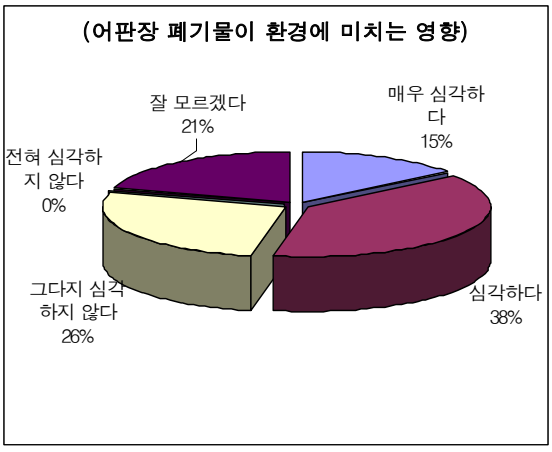
(1) 귀하께서는 2005년부터 젖은 쓰레기 매립이 금지되는 사실을 알고계십니까?
(2) 귀하께서는 현재 위판장 폐기물(예 : 고기를 다루고 남은 것 등)이 환경오염에 미치는 영향이 어느 정도라고 생각하십니까?
(3) 위판장의 쓰레기 처리실태에 대하여 어느 정도 만족하고 계십니까?
(4) 위판장 폐기물 문제해결을 위하여 가장 중요하다고 생각하는 것은 무엇입니까?

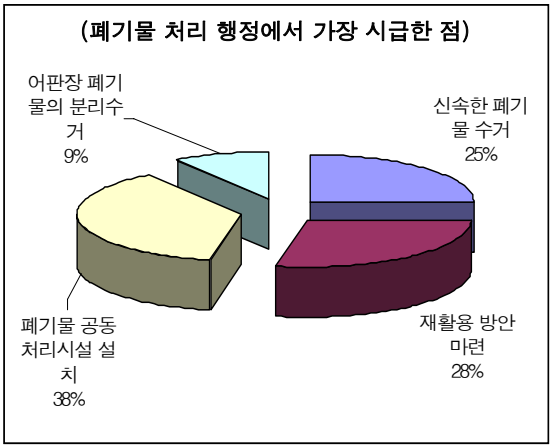
(5) 귀하의 상점에서 발생된 폐기물을 배출하는 횟수는 몇 회 정도입니까?
(6) 귀 상점에서는 위판장 폐기물 처리를 위하여 1주일에 몇 개 정도의 봉투를 사용하고 계십니까?
(7) 현재 사용중인 쓰레기봉투에 관한 의견은?
(8) 귀 상점의 경우 쓰레기봉투 1장당 혼합되는 일반 비닐봉투의 개수는 어느 정도입니까?
(9) 귀 상점에서는 발생되는 폐기물을 어떻게 처리하고 계십니까?
(10) 위판장 폐기물만을 수거한다면 가장 바람직한 방법은 어떤 것이라고 생각하십니까?
(11) 위판장 주변에 젖은 쓰레기 처리시설을 건설하게 될 경우, 어떻게 하겠습니까?
(12) 위판장 주변에 젖은 쓰레기 처리시설이 설치된다면 무엇이 가장 큰 문제라고 생각하십니까?
(13) 지역이기주의의 극복을 위한 방법으로 가장 바람직한 것은 어느 것이라고 생각하십니까?
(14) 귀하는 위판장 폐기물 분리배출을 잘하고 계십니까?
(15) 재활용품을 분리수거하지 않고 폐기물과 함께 버리는 경우는?
(16) 귀하의 상점에서 재활용품 배출방식은 어디에 해당됩니까?(어판장 폐기물 제외)
(17) 재활용 가능품 중 자주 폐기물과 혼합하여 버리게 되는 품목에 표시해 주십시오.
(18) 분리 배출한 재활용품은 수거가 잘되고 있습니까?
(19) 위판장에서 효율적인 재활용품 분리수거를 위해서 가장 시급하게 개선할 점은 무엇이라고 생각하십니까?
(20) 위판장 폐기물 처리 행정에서 가장 시급하게 개선해야 될 점은 무엇이라고 생각하십니까?

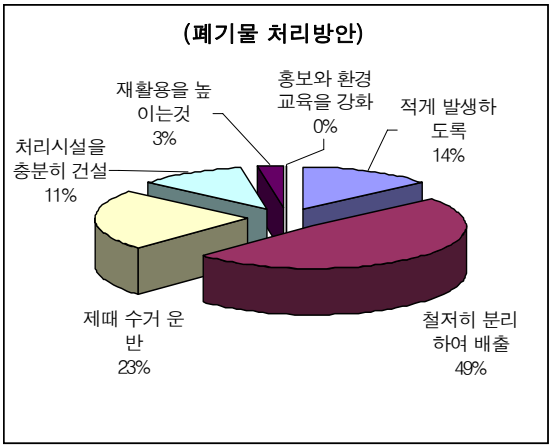
다. 조사결과

(1) 위판장 폐기물에 대한 전반적인 의식 설문결과

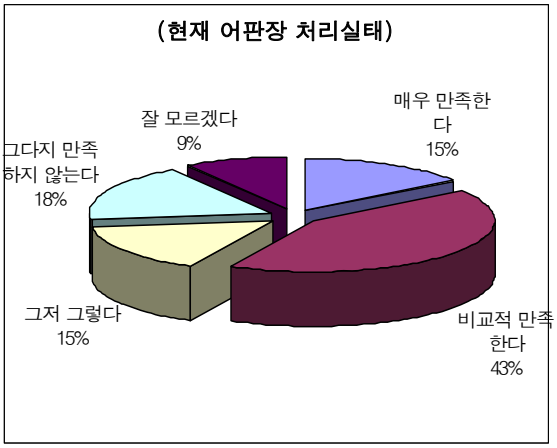


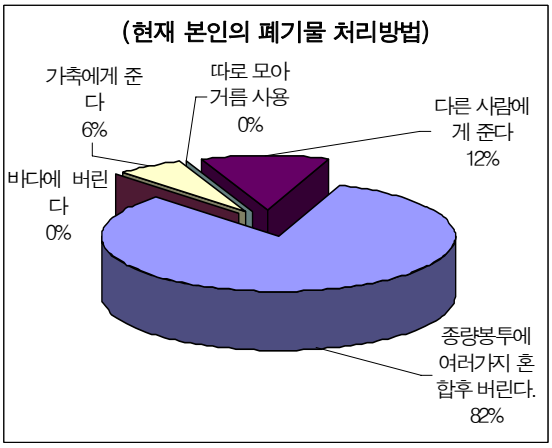


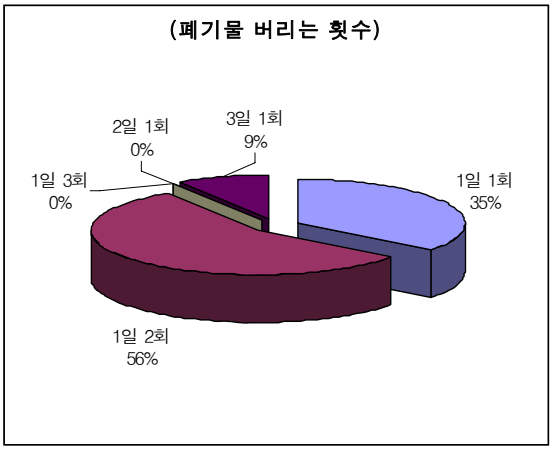


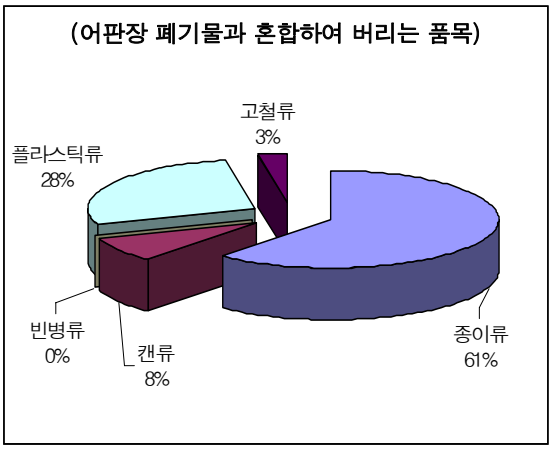


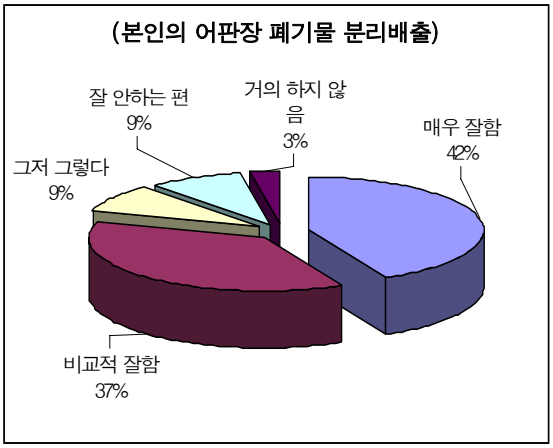
(2) 위판장 폐기물 배출 실태 설문결과

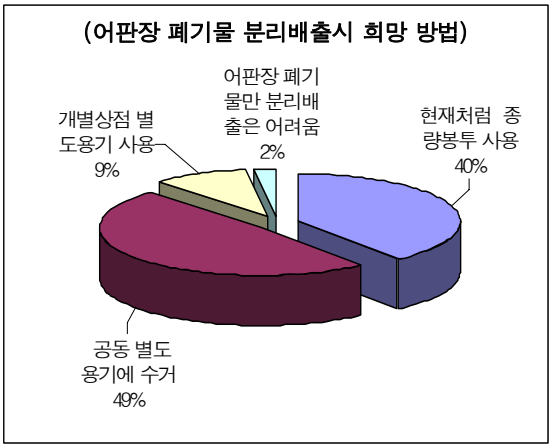




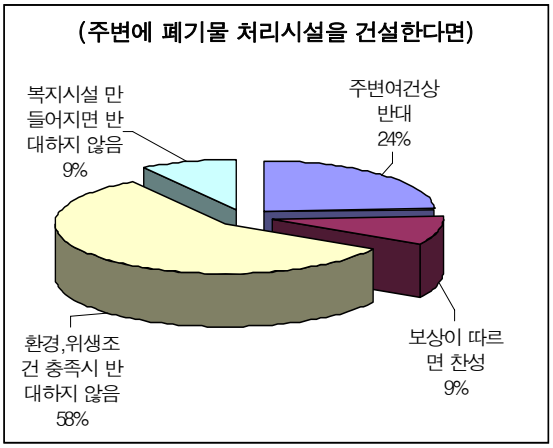


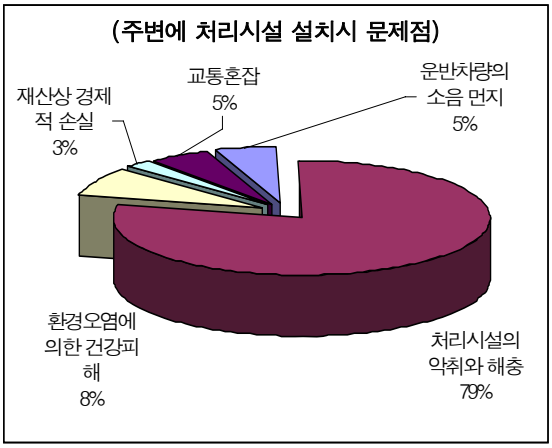


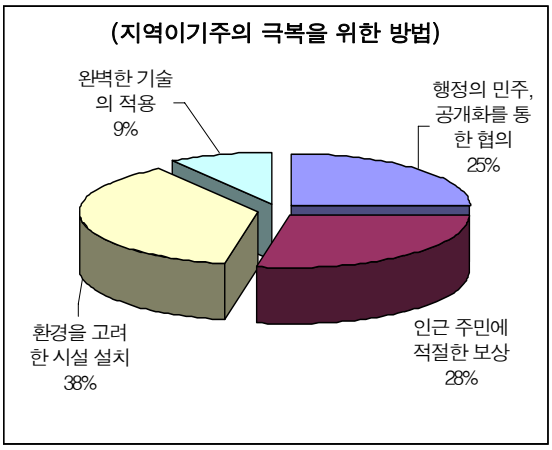




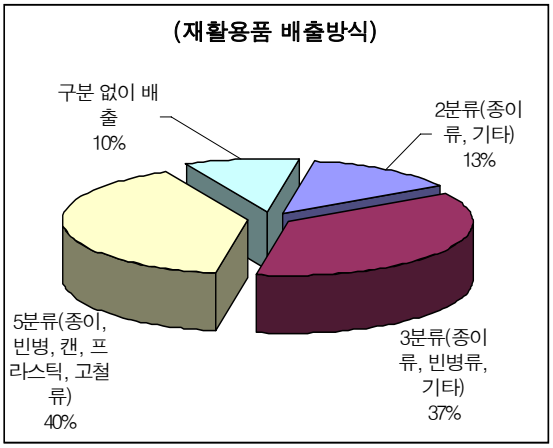
(3) 폐기물 처리시설에 대한 견해 설문결과

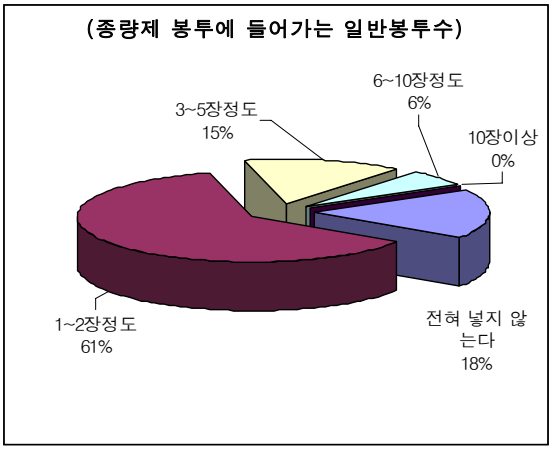


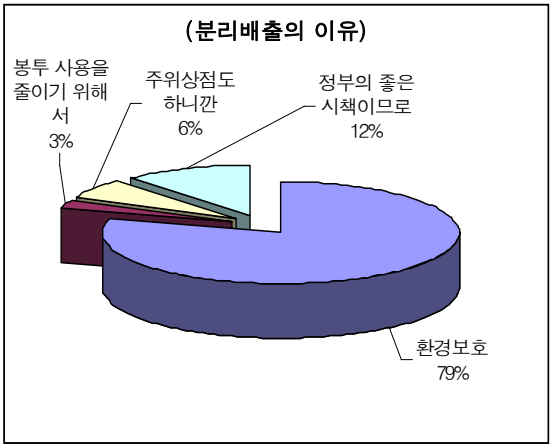


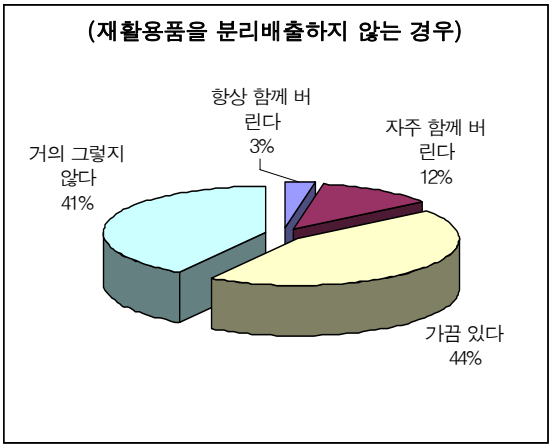


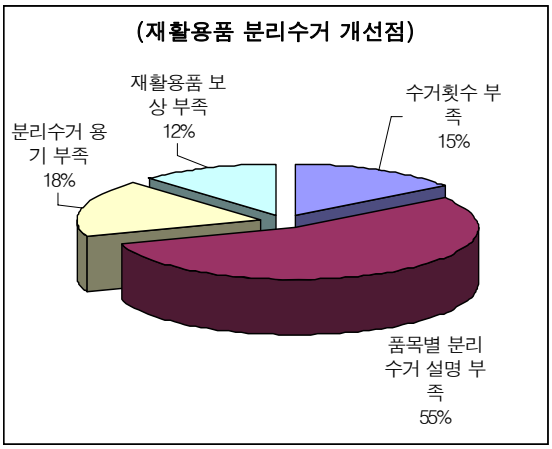
(4) 위판장에서 나오는 재활용품의 분리배출 실태 설문결과



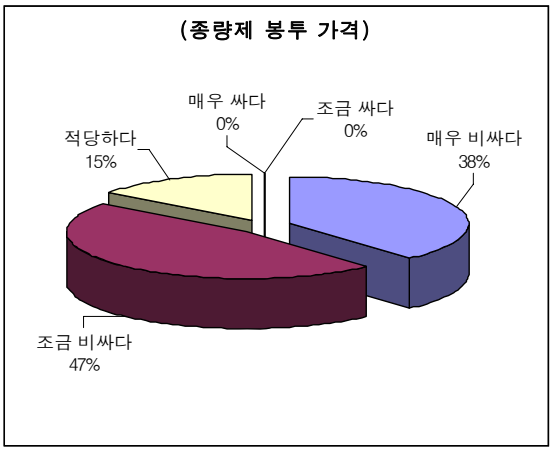


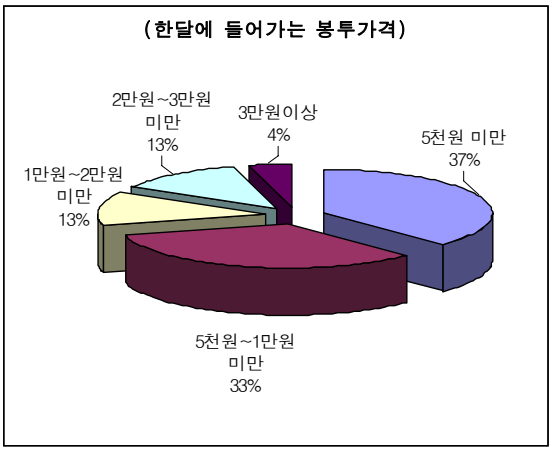




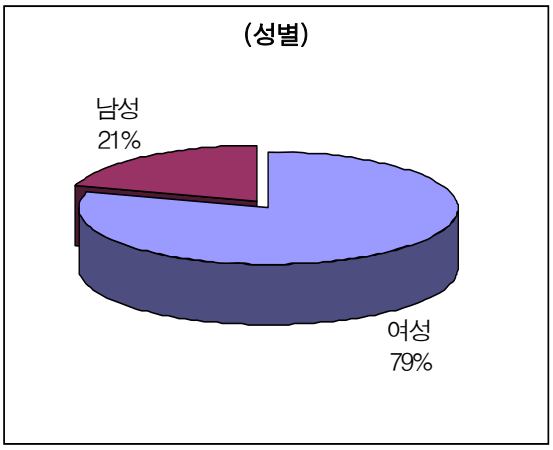


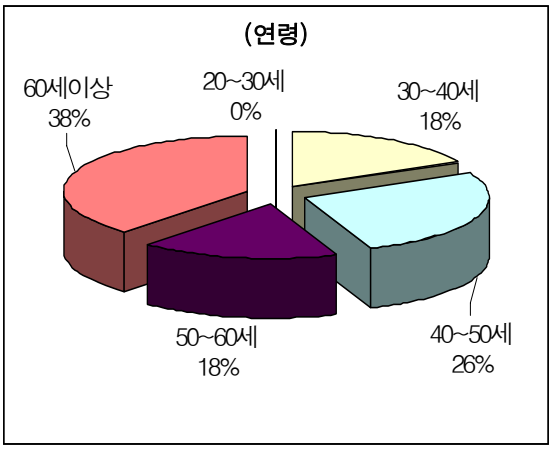
(5) 종량제 봉투비용의 체감 설문결과

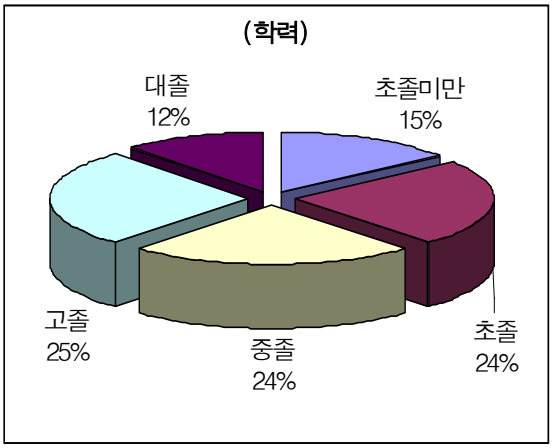


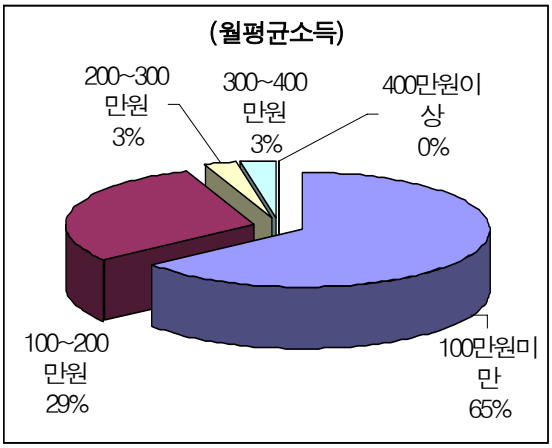


(6) 신상관련 설문









라. 결론

이번 설문조사와 폐기물 발생량 조사를 통하여 위판장 폐기물 관리 방안을 수립하기 위한 기본적인 정보를 알 수 있었다. 위판장의 수산폐기물의 가장 큰 문제는 악취 문제, 수분의 다량 함유와 철저한 분리배출이 쉽지 않은 것에 의한 재활용방안 미흡이 일반 쓰레기와 다르다고 볼 수 있다.

우선 젖은 쓰레기 매립 금지에 대한 것으로 위판장에서 배출되는 수산폐기물 또한 매립이 안되는 것에 대하여 상인들은 별다른 정보를 듣지 못한 것으로 조사되었는데 이는 정책에 대한 홍보의 부족 때문인 것으로 판단된다. 또한 상인들은 폐기물을 일반 ,종량제 봉투에 버리는 것에 대하여 별다른 문제를 느끼고 있지 않았으며 일반 개인이 사료로 사용하기 위하여 수거해가는 것에 대하여 높은 선호 경향을 나타내었다.

상인들은 우선 폐기물이 부패하면서 발생되는 악취문제로 인해 빨리 수거해가는 것을 선호하고 있었다. 이 때문에 하루에 2번 수거해가는 것에 대하여 만족하고 있었다.

위판장 폐기물을 처리하기 위한 시설물이 인근에 건조되는 사항에 대해서는 악취나 해충 문제와 같은 위생조건 충족시 반대하지 않을 것으로 조사되어 처리시설의 필요성을 느끼고 있는 것으로 보여 진다. 종량제 봉투에 담아 배출하는 시스템 하에서는 위판장 폐기물뿐만 아니라 비닐봉지와 기타 일반 쓰레기가 혼재되어 배출되고 있어 문제점으로 나타났다.

신상관련 조사사항으로 보았을 때 현재 위판장의 선어, 건어 판매상인들의 평균나이가 매우 높고 교육수준이 낮아 꾸준한 홍보가 병행되어야 할 것으로 보인다. 그렇지 않다면 수산폐기물에 일반 쓰레기가 섞이는 경우가 계속 발생할 것으로 사료된다.

3. Dry Fermentation 적용 가능성 평가.

수산물 손질에서 나오는 폐기물의 혐기성 생분해도 특성을 평가하기 위하여 Owen et al.,(1979) 및 Shelton et al.,(1984)에 의해 정립된 BMP 측정법을 이용하여 폐기물의 종류 및 주입량에 따른 생분해도 특성을 조사하였다. 이 방법은 Hungate(1966)에 의해 개발된 후 Miller et al.(1974)에 의해 보완되었으며 Healy는 이 방법을 이용하여 지방족 화합물의 혐기성 생분해도를 측정하였다. 그 후 Owen et al.(1979)은 측정방법을 개량하여 Biochemical Methane Potential(BMP) 측정법을 제안하였는데 이는 시험병 내의 가스발생량을 누적 메탄 발생량으로 나타내어 투입 기질에 대한 메탄수율을 계산함으로서 생분해도를 측정하는 방법이다. BMP 측정법은 Shelton et al.(1984)에 의해 그 기법이 향상되었으나 탄산가스의 용해로 인해 가스 발생량을 정확하게 정량하기에는 한계가 있다는 점이 단점으로 지적되고 있다. 본 연구의 실험에 사용한 시료는 군산시 위판장에서 배출되는 수산계 폐기물로서 가장 많이 판매되는 고등어 및 갈치를 손질하는 과정에서 생성된 폐기물과 생선내장을 수거하여 믹서기로 파쇄한 후 종류별로 고형물 부하를 달리하여 500mL 용량의 serum bottle에 주입하였다. 믹서기로 파쇄하여 실험에 사용한 시료의 평균 고형물 농도는 어류 종류에 따라 21~31%정도의 분포를 보였고 내장의 경우 평균 16.5%전후였다. 본 실험에 사용한 식종액은 군산시 하수처리장 소화조의 소화슬러지를 실험실로 이송한 후 100mesh 체를 사용하여 불순물을 거른 후 농축하여 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 식종 소화 슬러지의 특성은 TSS 13.1 g/L, VSS 9.2 g/L, pH 7.47이었으며 식종량은 serum bottle 용량을 기준으로 약 20%였다. 실험순서는 Shelton 등(1984)의 방법

에 따라 500mL 용량의 serum bottle에 식종 슬러지를 100mL 주입한 후 어류 폐기물을 50, 100, 150mL로 주입하였으며 전체 배지의 나머지 부피분에 대하여 탈이온수를 끓여서 용존산소를 제거한 후 질소가스를 불어 넣으면서 실험온도인 35℃ 까지 식힌 탈이온수를 채워 전체 용량을 300mL로 하였다. 혐기성 배지는 [표 23]과 같이 Shelton et al.(1984)이 혐기성 생분해도 측정에 사용하였던 방법과 같이 제조하여 사용하였다. 모든 실험은 duplicate로 실시하였고 35℃ 항온실에서 120 RPM으로 운전되는 진탕기에서 배양하였다. 또한 혐기성 배지와 식종액만을 넣은 Blank를 동일한 조건에서 병행 운전하여 보정하였다.

[표 23] Characteristics of the anaerobic media for anaerobic biodegradability test

Compound		Concentration(g/L)
Phosphate buffer (adjusted to pH 7.0)	KH_2PO_4	0.27
	K_2HPO_4	0.35
Mineral salts	NH_4Cl	0.53
	$CaCl_2$ $2H_2O$	0.075
	MgCl $6H_2O$	0.100
	$FeCl_2$ $4H_2O$	0.020
Trace metals (modified from Zehnder and Wuhrmann)	$MnCl_2$	0.0005
	H_3BO_3	0.00005
	$ZnCl_3$	0.00005
	$CuCl_2$	0.00003
	$NaMo_4$	0.00001
	$CoCl_2$ $6H_2O$	0.0005
	$NiCl_2$ $6H_2O$	0.00005
	Na_2SeO_3	0.00005

수산물 폐기물에 대한 생분해도 실험시 적정 부하율을 구하기 위하여 현장에서 가져온 폐기물을 고등어와 갈치, 어류 내장으로 분리하여 파쇄한 후 별도의 전처리를 가하지 않고 이를 각각 serum bottle에 50ml, 100ml, 150ml 씩 주입한 다음 시간에 따른 메탄 발생량을 평가하였으며 이들의 결과를 [그림 56~61]에 나타내었다. 발생되는 메탄생성량은 다음과 같은 식을 이용하여 0℃, 1atm의 STP 상태의 건조가스로 환산하였다.

$$\text{Dry } CH_4(\text{STP ml/g VS}) = CH_4(35^{\circ}C \text{ ml/g VS}) \times 273/(273+35) \times (760-42.2)/760$$

위 식은 먼저 온도를 0℃로 보정하였고, 35℃에서의 수증기압 42.2mmHg를 제하여 메탄량을 계산하였다. 운전시간 경과에 따라 각 기질 종류별로 누적 메탄발생량 및 메탄 발생속도에 다소 차이는 있으나 1g VS당 약 400~450ml를 나타내었다. 기질 종류별로 볼 경우 고형물 단위 중량당 메탄 발생량은 갈치와 고등어의 머리 부분과 기타 지느러미, 꼬리 등으로 구성된 부분보다 내장이 더 높았으나 분해속도는 오히려 더 느린 것으로 나타났다.

일반적으로 미생물의 기질분해를 해석함에 있어서 기질이 제한 인자이고 미생물이 충분할

때 식 (3)과 같이 시간에 따른 기질의 분해속도를 일차식으로 나타내어 표현할 수 있다. 본 회분식 실험에서는 충분한 식종 슬러지와 중간 생성물인 유기산이 축적되지 않을 정도의 기질을 주입하였다. 따라서 반응기 내부에서 기수분해가 율속단계로 작용하여 메탄 생성균의 기질 즉, VFA가 제한인자로 작용함으로 식 (3)과 같이 1차식으로 표현하였다. 이 경우에 가수분해가 율속단계이므로 k를 가수분해 속도 상수라고도 한다.

$$dS/dt = kS \quad \text{----------(3)}$$

여기서, k = kinetic constant

S = Substrate concentration

식 (3)을 적분하여 식 (4)와 같이 표현하였다.

$$\ln(S/S_0) = -kt \quad \text{----------(4)}$$

반응기 내부의 생분해성 VS의 농도를 직접 가스발생량과 관련되므로 Hashimoto(1981) 등이 제안한 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$S/S_0 = (B_0-B)/B_0 \quad \text{----------(5)}$$

여기서, B = 누적 메탄 발생량

B_0 = 최종 메탄 발생량

위의 식 (3)과 (5)을 조합하면

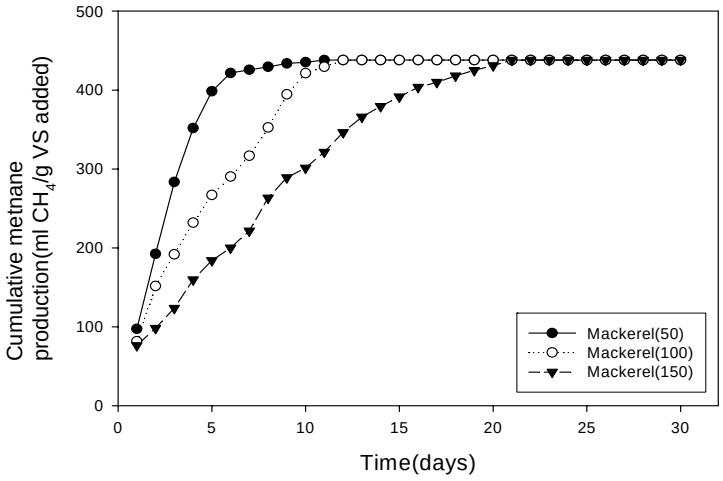
$$(B_0-B)/B_0 = \exp(-kt) \quad \text{----------(6)}$$

와 같다.

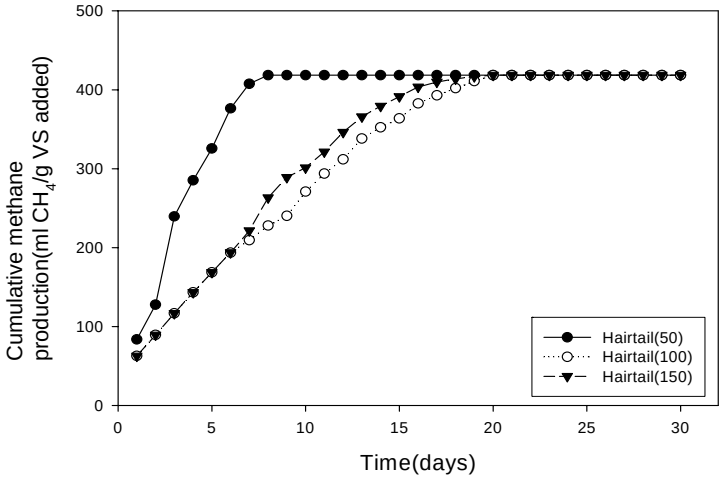
따라서 식 (6)에서 미생물의 적응에 필요한 지체시간을 제외하고, 시간 (t)에 대하여 $\ln(B_0-B)/B_0$의 관계를 [그림 62~64]와 같이 나타내어 k값을 구하였다.

여기에서 구한 1차 반응속도 상수, k값은 여러 종류의 대상 기질에 대한 생분해도와 분해속도를 평가하기 위하여 사용될 수 있는 인자로 평가된다(Cecchi et al., 1991).

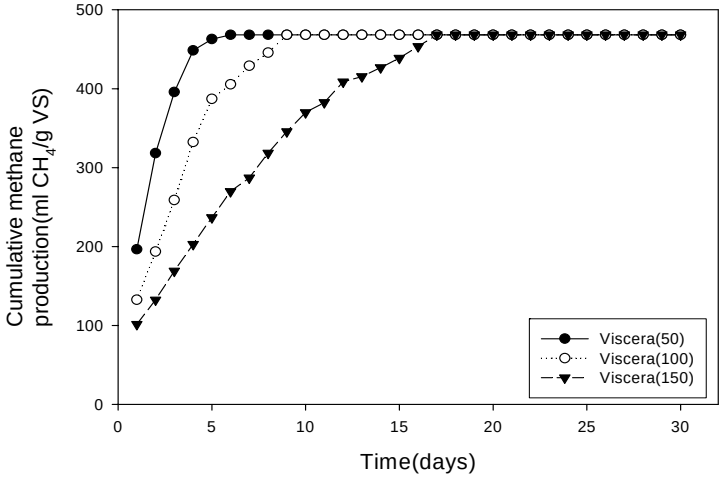
상관계수가 0.877~0.988이므로 분해 반응을 1차식으로 표현한 것이 적절하였다. 다른 문헌에서 조사한 값들과 본 연구에서 구한 값들을 비교하여 보면 Owen et al.(1992)의 BMP 실험결과에 의하면 도시 고형폐기물의 최종 메탄 발생량과 속도상수 (k)값은 각각 0.186~0.222 L CH_4/g VS, 0.072~0.075d^{-1}로 보고하고 있다.



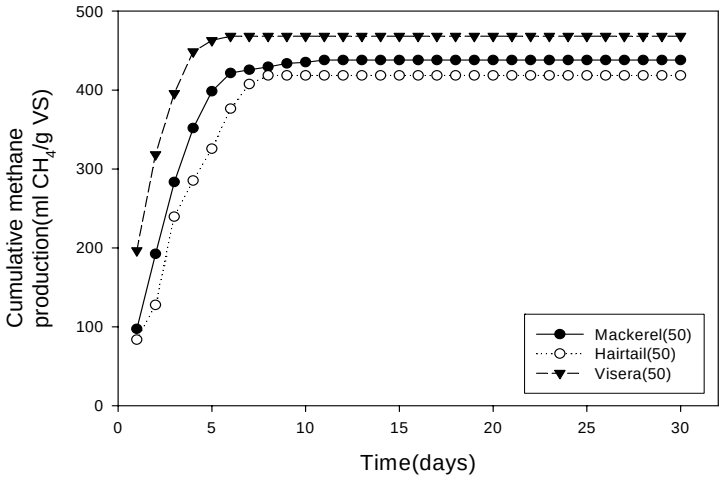
[그림 56] Cumulative methane production(ml CH_4/g VS)



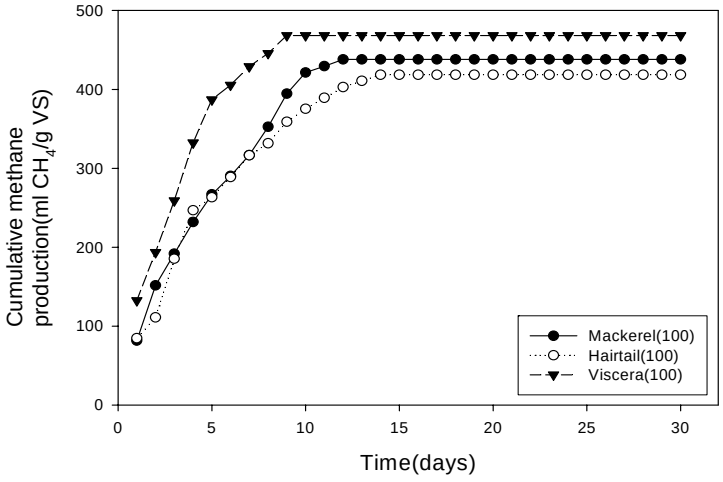
[그림 57] Cumulative methane production(ml CH_4/g VS)



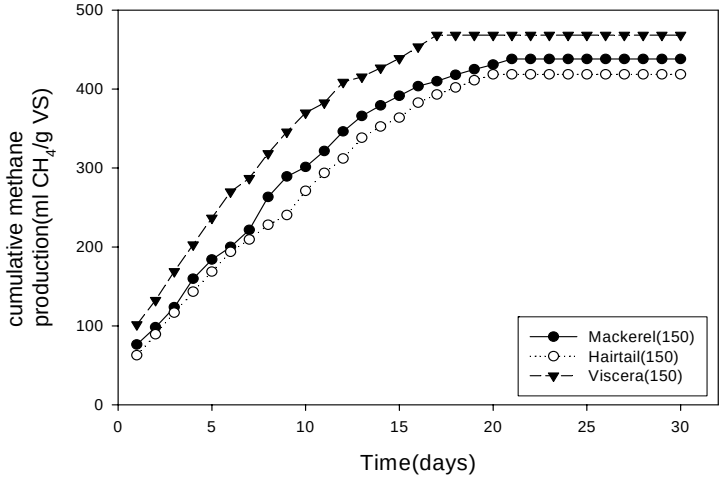
[그림 58] Cumulative methane production(ml CH_4/g VS)



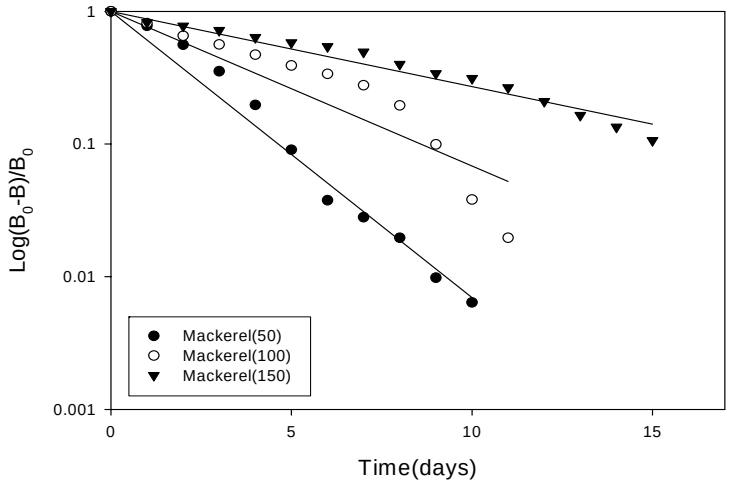
[그림 59] Cumulative methane production(ml CH_4/g VS)



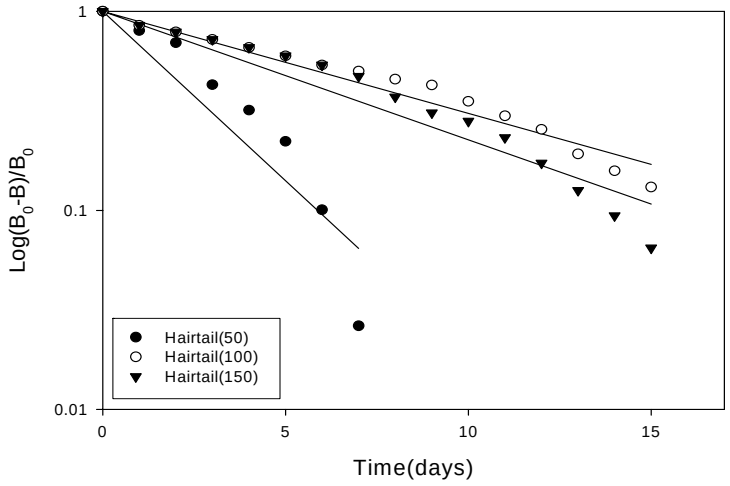
[그림 60] Cumulative methane production(ml CH_4/g VS)



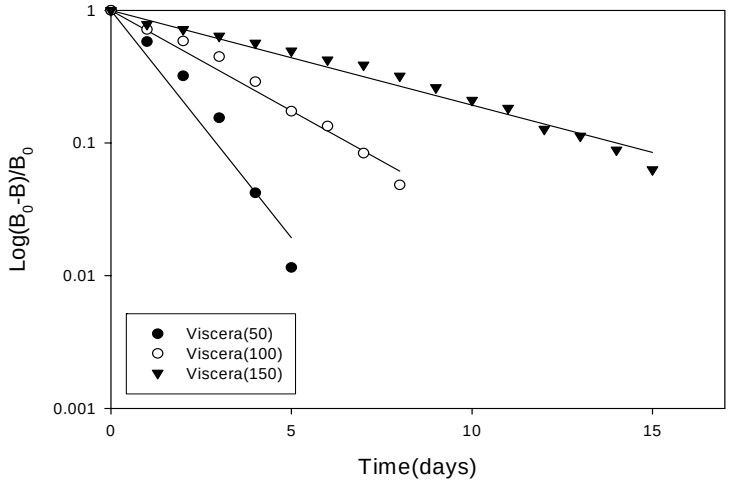
[그림 61] Cumulative methane production(ml CH_4/g VS)



[그림 62] Kinetic constant(k) according to Mackerel components



[그림 63] Kinetic constant(k) according to Hairtail components



[그림 64] Kinetic constant(k) according to Viscera components

[표 24] Kinetic constant(k) and ultimate methane yield of fish offal

		상관계수	k값(d^{-1})	최종메탄발생량 (LCH_4/g VS))
고등어	50	0.9877	0.235	0.4380
	100	0.8766	0.1382	
	150	0.968	0.0614	
갈치	50	0.8921	0.2045	0.4185
	100	0.9616	0.0551	
	150	0.9479	0.0739	
내장	50	0.9615	0.3836	0.4682
	100	0.9858	0.1626	
	150	0.9787	0.0757	

이러한 수치는 어류에 대한 생분해도 실험시 문(1993)에 의하여 보고된 0.379L CH_4/g VS 나 Owen & Chonoweth(1992)의 Food waste에서의 g VS당 메탄 발생량인 318~349mL, Jerger & Chynoweth(1987)이 Sorghum Cultivates에서 얻은 값 280~400 mL CH_4/g VS added 에 비하여 높은 값을 나타내었으나 Chynoweth et al.(1993)이 Food waste에서 연구 보고한 540 mL CH4/g VS added 보다는 낮은 값을 나타내었다.

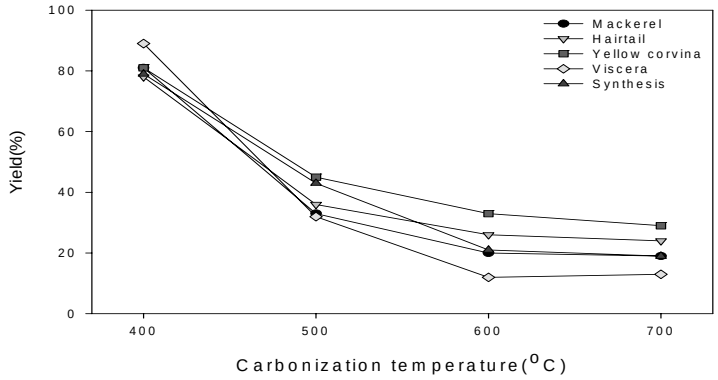
한편, 실험에 사용한 어류 폐기물의 원소조성을 파악하기 위하여 위판장에서 가져온 어류 손질 폐기물을 분쇄, 건조하여 원소 분석하였다. 분석된 원소조성을 통하여 이론적인 메탄생성량을 계산할 수 있다. 생선폐기물의 원소조성은 [표 25]에 나타내어 놓았다.

[표 25] Average chemical compositions of food waste used in this study

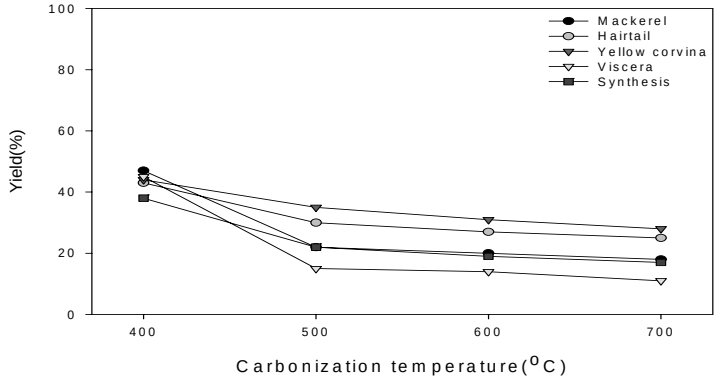
Elemental composition(%)					C/N ratio
C	H	O	N	S	
51.1	7.6	30.5	9.8	1.0	5.2

4. 탄화실험의 연구내용 및 결과

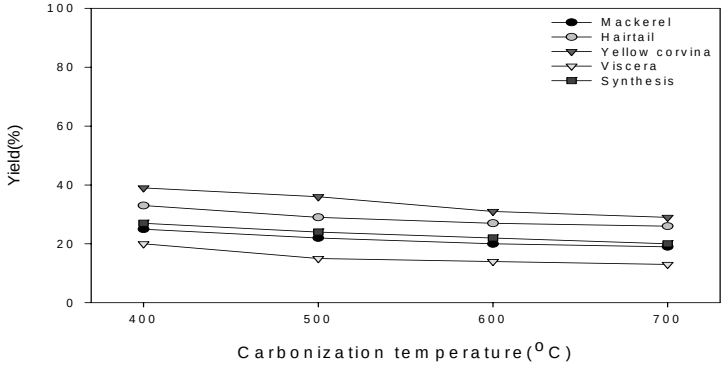
가. 탄화 fish offal의 수율변화



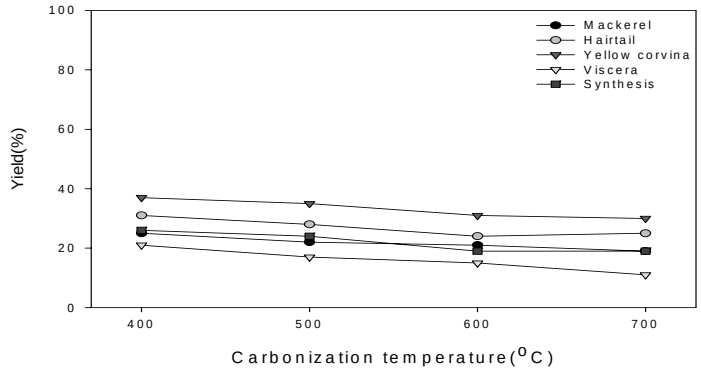
[그림 65] Yield of fish offal carbonization at 400, 500, 600 and 700℃ for 5min with inert N_2 gas



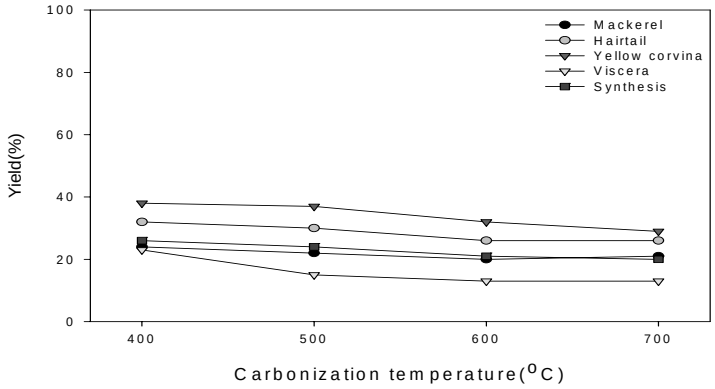
[그림 66] Yield of fish offal carbonized at 400, 500, 600 and 700℃ for 10min with inert N_2 gas



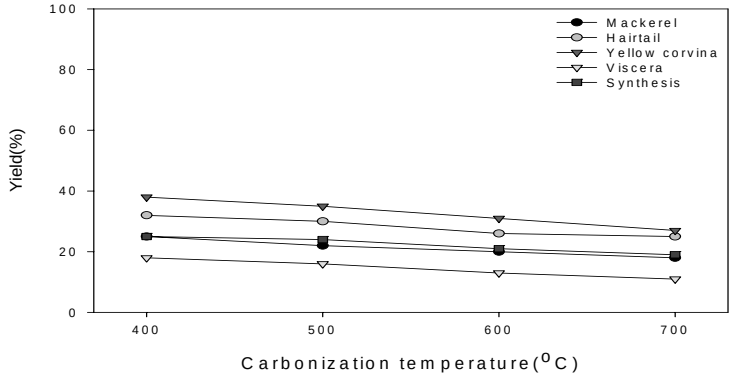
[그림 67] Yield of fish offal carbonized at 400, 500, 600 and 700℃ for 15min with inert N_2 gas



[그림 68] Yield of fish offal carbonized at 400, 500, 600 and 700℃ for 30min with inert N_2 gas



[그림 69] Yield of fish offal carbonized at 400, 500, 600 and 700℃ for 45min with inert N_2 gas



[그림 70] Yield of fish offal carbonized at 400, 500, 600 and 700℃ for 60min with inert N_2 gas

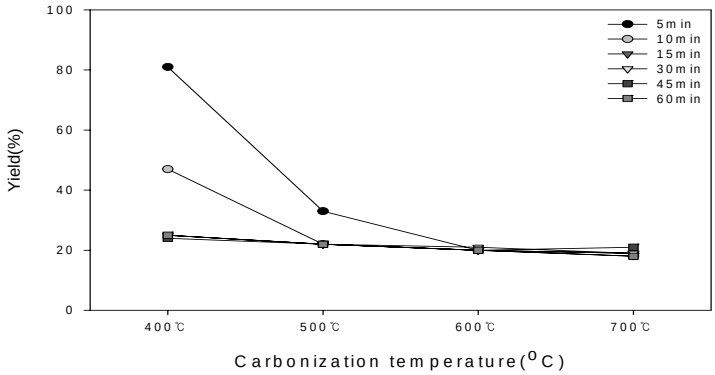
[그림 65~70]는 탄화시간이 5, 10, 15, 30, 45, 60분일 때 탄화온도 변화에 따른 고등어, 갈치, 조기, 내장, 혼합 fish offal의 생성수율을 TS 기준으로 나타낸 것이다.

[그림 65]에서 보는바와 같이 탄화시간 5분에서 탄화온도에 따른 생성수율이 400℃에서 TS 기준으로 고등어, 갈치, 조기, 내장, 혼합 fish offal 각각 80%, 78%, 81%, 89%, 79%를 나타내어 초기 시료에 포함되어 있던 수분과 휘발성 물질이 배가스로 방출되는 것으로 사료되나 탄화 시간이 짧아 1차 휘발이 많이 이루어지지 않은 것으로 보인다.

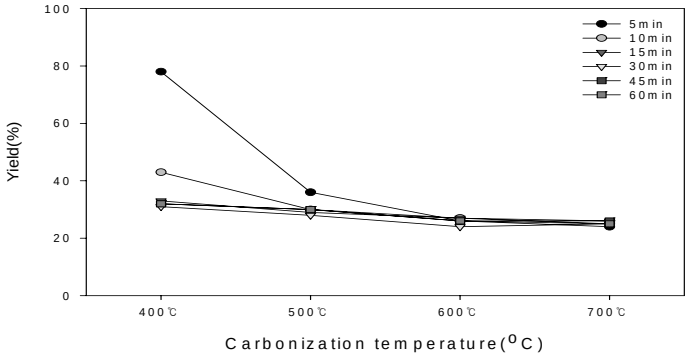
500℃의 경우 생성수율이 33%, 36%, 45%, 32%, 43%로 400℃에서 500℃ 사이의 수율차가 각각 48%, 42%, 36%, 57%, 36%로 크게 나타났는데 이는 이 조건에서 2차 휘발이 일어난 것으로 사료된다. 5분간 탄화시킨 fish offal 모두 탄화온도 변화에 따른 수율 변화가 크게 나타난 것으로 나타났다.

[그림 66]에서는 10분간 각 온도에서 탄화 후 시료의 수율 변화를 나타내었는데 400℃에서 고등어, 갈치, 조기, 내장, 통합 fish offal의 수율이 47%, 43%, 44%, 45%, 38%로 각각 나타났고, 500℃에서는 22%, 30%, 35%, 15%, 22%로 400℃에서 500℃ 사이의 수율차가 25%, 13%, 9%, 30%, 16%로 조기를 제외한 fish offal에서 10%이상 크게 나타났다. 이 조건에서 2차 휘발이 일어난 것으로 사료된다. 또한 탄화온도를 600℃, 700℃로 하여 10분간 탄화시킨 결과 수율 차는 미미한 것으로 나타났다.

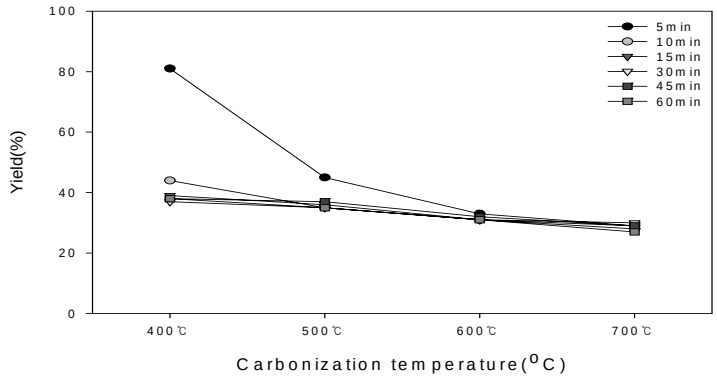
[그림 67, 68, 69, 70]에서 보는바와 같이 탄화 시간 15~60분에서 실험한 결과 탄화 온도 400~700℃에서의 수율차가 크게 나타나지 않았으며, 탄화시간 5분, 10분에서와 같이 큰 수율감소는 나타나지 않았다.



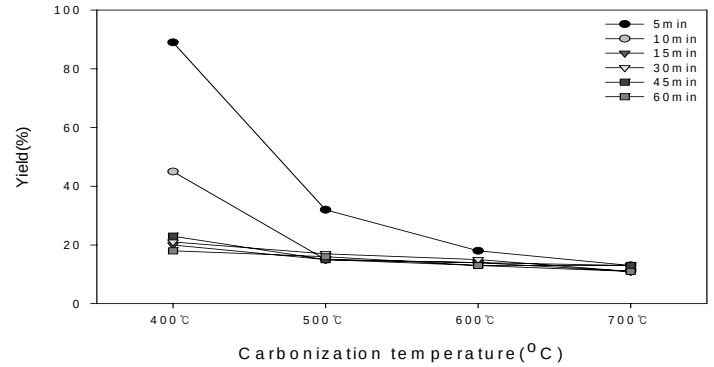
[그림 71] Yield of Mackerel carbonized at 400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas



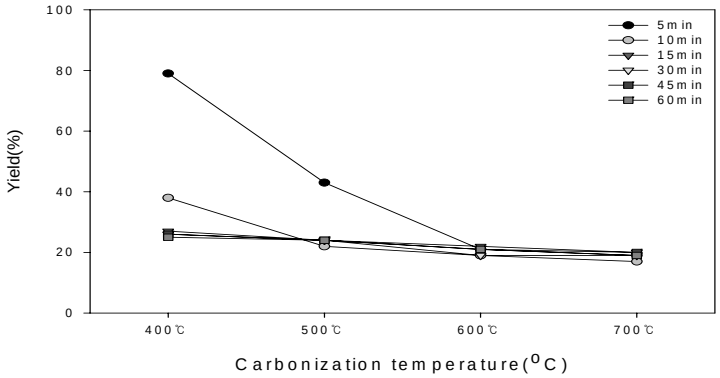
[그림 72] Yield of Hairtail carbonized at 400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas



[그림 73] Yield of Yellow corvina carbonized at 400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas



[그림 74] Yield of Viscera carbonized at 400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas

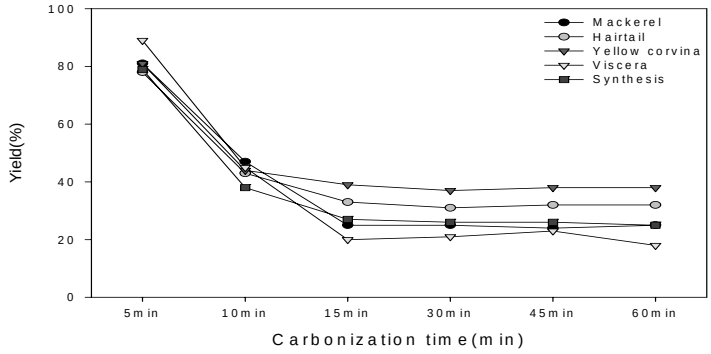


[그림 75] Yield of Synthesis carbonized at 400, 500, 600 and 700℃ for 5, 10, 15, 30, 45 and 60min with inert N_2 gas

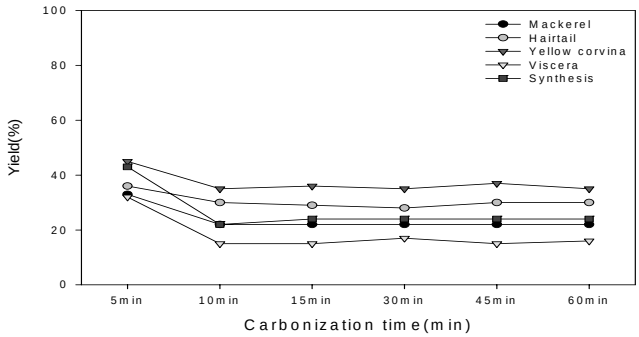
[그림 71~75]는 탄화시간 5, 10, 15, 30, 45, 60분일 때 탄화온도 변화에 따른 고등어, 갈치, 조기, 내장, 혼합 fish offal 각각의 생성 수율을 TS 기준으로 나타내었다.

그림에서 보는바와 같이 각 fish offal 공히 탄화시간 5분, 10분일 때 탄화온도 변화에 따른 수율 변화가 크게 나타났고, 탄화시간 15분 이후에는 탄화온도 변화에 따른 수율 변화가

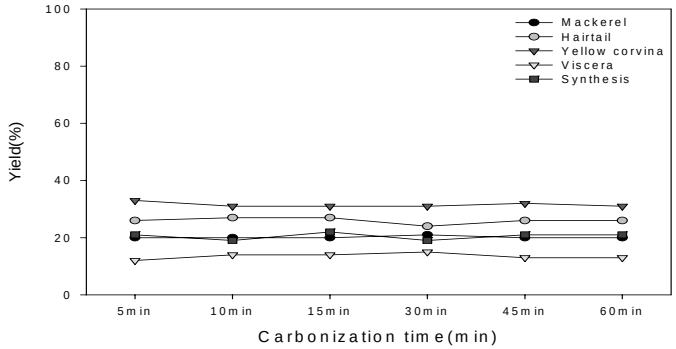
미미한 것으로 나타났다. 또한 탄화시간 5분, 10분일 때 탄화온도 400℃, 500℃에서 모두 수율 변화가 크게 나타났는데 이는 탄화에 필요한 시간과 온도가 모두 적절하지 못하여 발생한 것으로 사료된다.



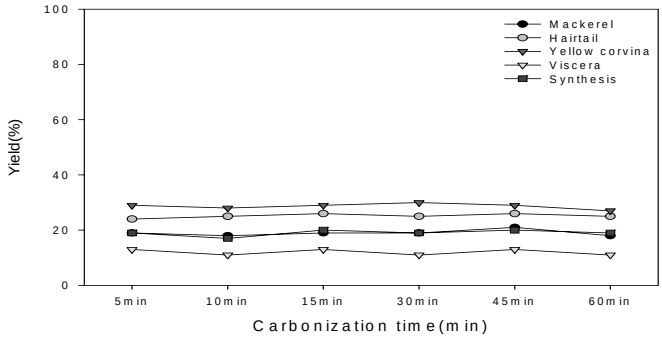
[그림 76] Yield of fish offal carbonized at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400℃ with inert N_2 gas



[그림 77] Yield of fish offal carbonized at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 500℃ with inert N_2 gas



[그림 78] Yield of fish offal carbonized at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 600℃ with inert N_2 gas

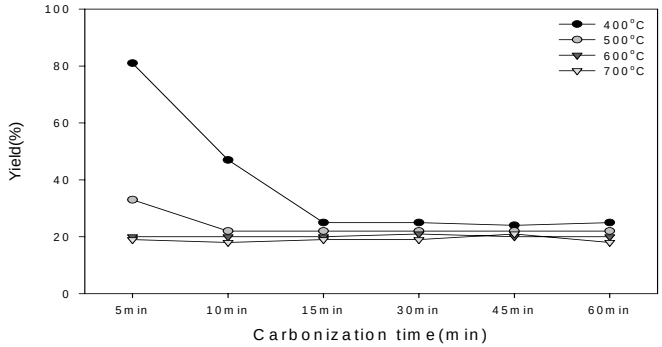


[그림 79] Yield of fish offal carbonized at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 700℃ with inert N_2 gas

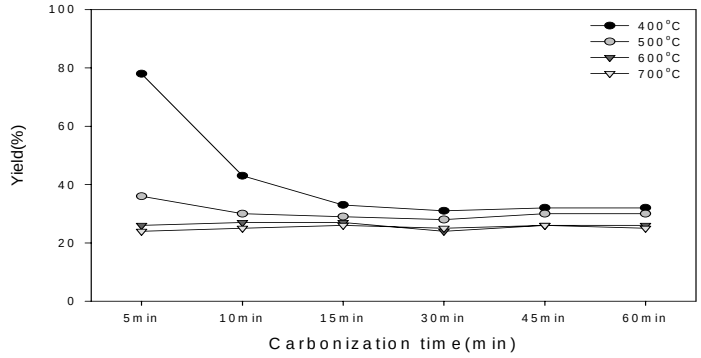
[그림 76~79]은 탄화온도 400, 500, 600, 700℃일 때 탄화시간 변화에 따른 고등어, 갈치, 조기, 내장, 혼합 fish offal의 생성수율을 TS 기준으로 나타낸 것이다.

[그림 76, 77]에서 보는바와 같이 탄화시간에 따른 수율변화는 400℃, 500℃에서 5분, 10분 탄화했을 경우 각 fish offal 공히 수율 변화 폭이 크게 나타났다. 그러나 30분 이상부터는 각 온도별로 시간변화에 따른 수율 변화가 미미한 것으로 나타나 탄화시간에 따른 수율변화는 30분 이상부터는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

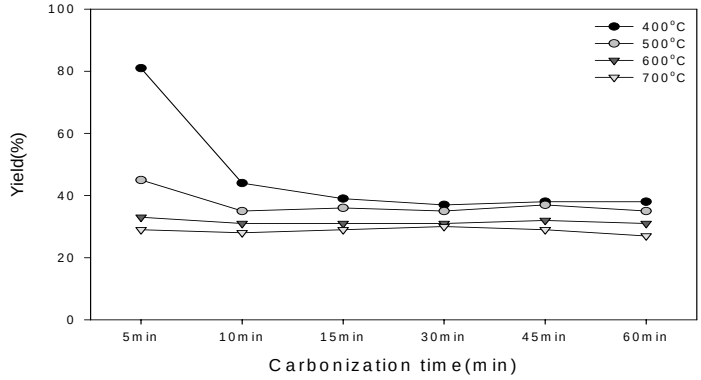
[그림 78, 79]에서는 600℃, 700℃에서 시간변화에 따른 수율변화를 나타내었는데 그림에서 보는바와 같이 탄화시간을 5분에서 60분으로 늘려도 수율변화가 미미한 것으로 나타났다. 이는 600℃이상에서는 짧은 탄화시간에도 1차 휘발로 거의 모든 수분과 휘발성 물질이 배가스로 방출되는 것으로 사료된다.



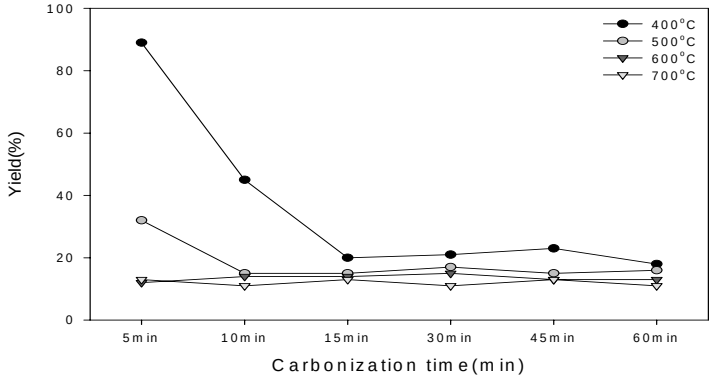
[그림 80] Yield of Mackerel carbonized at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas



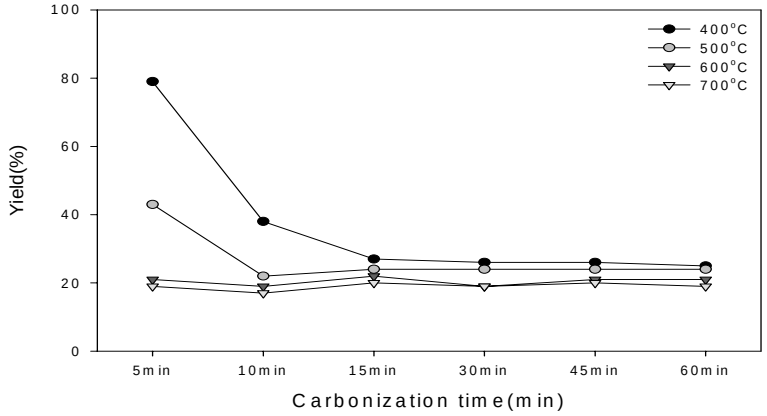
[그림 81] Yield of Hairtail carbonized at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas



[그림 82] Yield of Yellow corvina carbonized at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas



[그림 83] Yield of Viscera carbonized at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas



[그림 84] Yield of Synthesis carbonized at 5, 10, 15, 30, 45 and 60min for 400, 500, 600 and 700℃ with inert N_2 gas

[그림 80~84]은 각 fish offal별로 탄화시간을 5, 10, 15, 30, 45, 60분으로 변화시켰을 때 탄화온도 400, 500, 600, 700℃에서 수율변화를 나타낸 것이다.

[그림 80]에서 보는바와 같이 고등어, 갈치, 조기, 내장, 혼합 fish offal 모두 400℃에서는 15분까지 수율 변화가 크게 나타났으나 그 이후에는 수율 변화가 미미한 것으로 나타났다.

나. 결과

위판장에서 발생되는 fish offal의 자원화를 목적으로 탄화실험을 한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 고등어, 갈치, 조기를 대상으로 내장이나 몸통, 개별 생선이나 이들을 혼합한 시료 모두에 대하여 개별적으로 탄화실험을 실시한 결과 탄화되는 패턴은 비슷한 것으로 나타났다.
(2) 탄화온도 400℃에서는 1차 휘발이 미미하여 2차 휘발이 일어난 500℃와의 수율차가 크게 나타났다.
(3) 탄화온도를 600℃, 700℃로 하여 10분 이상 탄화시킨 결과 수율차는 미미한 것으로 나타났다.
(4) 탄화시간 5분, 10분일 때 탄화온도 변화에 따른 수율 변화가 크게 나타났고, 탄화시간 15분 이후에는 탄화온도 변화에 따른 수율 변화가 미미한 것으로 나타났다.
(5) 탄화시간 30분 이상부터는 각 온도별로 시간변화에 따른 수율 변화가 미미한 것으로 나타나 탄화시간에 따른 수율변화는 30분 이상부터는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

5. Dry fermenter를 이용한 실험실 규모 반응조 운전.

Dry fermenter를 이용한 본 실험에 있어서 가장 중요한 운전인자중의 하나는 반송량의 결정이다. 즉 [그림 2]에 나타나 있는바와 같은 형태의 반응조 운전에 있어서 반응조 운전효율을 결정짓는 가장 중요한 인자는 미생물과 기질간의 접촉정도이다.

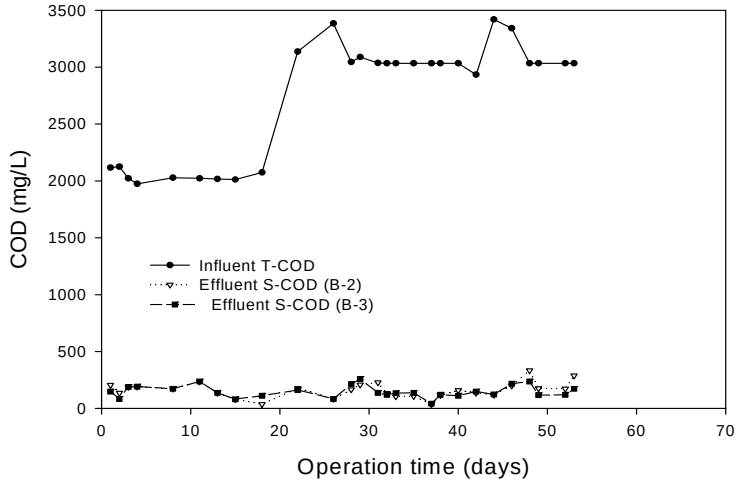
본 연구의 경우 반응조 상부에 기·액·고체 분리기를 장착한 fermenter에 도시하수 처리장 소화조에서 가져온 소화슬러지를 실험실로 가져와 100mesh 체를 이용하여 협잡물을 제거한 후 반응조에 20% 용량비로 식종하였다. 식종 슬러지의 특성은 TSS 13.1 g/L, VSS 9.2 g/L, pH 7.47이었다. 다음에 3개의 반응조에 분쇄시킨 어류 폐기물을 반응조 유효용량의 10%, 20%, 30%씩 각각 주입하였다. 식종과 기질주입이 끝난 후 반응조 상부에는 가스 포집장치를 설치하여 메탄생성 가스량을 측정하고자 하였다. 그러나 실험에 사용한 반응조 3개 모두 일주일 이내에 가스 생성량이 중지되면서 반응조 운전이 실패하였다. 소화조 운전에 있어서 특히, 소화조의 start-up시 발생되는 이러한 반응조 실패의 원인을 파악하고 단상 소화조에서 액상 재순환을 통한 적정 상향유속의 중요성을 파악하기 위하여 실험을 실시하였다.

단상 소화조 운전에 있어서 내부 상등액 순환이 미치는 영향을 파악하기 위하여 직경 6.4cm, 유효용량 1.46L 반응조(A-1, A-2, A-3)와 직경 3cm, 유효용량 0.32L의 직경이 작은 반응조(B-1, B-2, B-3)를 비교 운전하면서 상등수 재순환의 영향을 평가하고자 하였다. 실험 초기에 A 반응조 3개에는 공히 24.4g VSS에 해당하는 양만큼의 하수처리장 소화슬러지를 식종하였고 B 반응조 3개에는 4.4g VSS에 해당되는 양만큼의 소화슬러지를 식종액으로 식종하였다. 실험의 편의를 위하여 기질은 생선 폐기물 대신 glucose를 이용하여 제조하여 A-!, B-1 반응조에는 COD 10,000 mg/L의 용액을 채우고 A-2, A-3 및 B-2, B-3 반응조에는 COD 3,000mg/L 용액을 채워 놓았으며 HRT 12시간으로 연속적으로 기질을 주입하였다. 6개의 소화조 중 A-2, B-2 반응조만 내부액 재순환을 실시하고 A-1, B-1, A-3, B-3 반응조는 재순환 없이 운전을 하였다. 재순환은 peristaltic pump를 이용하여 반응조내 액체 상향유속이 2 m/hr가 되도록 실시하였다. 재순환의 영향을 확인하기 위하여 재순환 없이 운전하던 4개 반응조는 운전시작 35일째부터 A-2, B-2 반응조와 같이 내부 재순환을 적용시켜 운전하였다. 6개 반응조의 운전기간 중 소화조내의 화학적 인자의 변화를 [표 26]에 나타내어 놓았다.

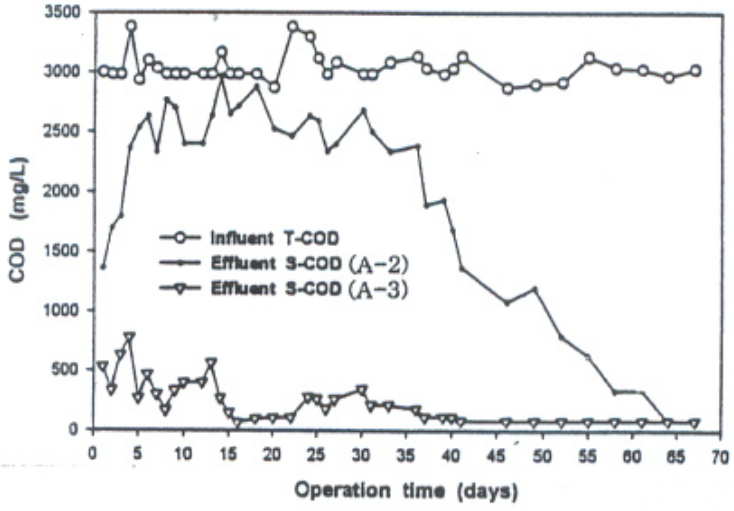
먼저 1.45L 반응조에서 10,000 mg COD/L의 기질을 채우고 내부 순환 없이 운전한 A-1 반응조의 경우 pH값의 경우도 60.3~6.99로 타 반응조에 비하여 낮은 값을 나타내었으며 휘발성 산의 축적도 상당히 일어났다. 특히, 동일 유기물 부하 하에서 내부 재순환 유무만 달리한 A-2와 A-3 반응조의 경우 유출수내 알카리도는 [표 25]에서 보다시피 평균 3,033 mg/L와 2,907 mg/L로 비슷하였음에도 불구하고 유출수 휘발성 산 농도는 운전시작 35일째 까지를 기준으로 볼 때 A-2 반응조가 평균 162 mg/L를 나타낸데 비해 A-3 반응조의 경우 1,506 mg/L로 약 9배 이상의 차이를 보여주고 있다. 이는 유출수 반송 유무에 따라 반송을 시키지 않은 A-3 반응조내에 휘발성 산의 축적이 일어난다는 것을 나타내어 준다.

[표 26] Chemical characteristics of digester

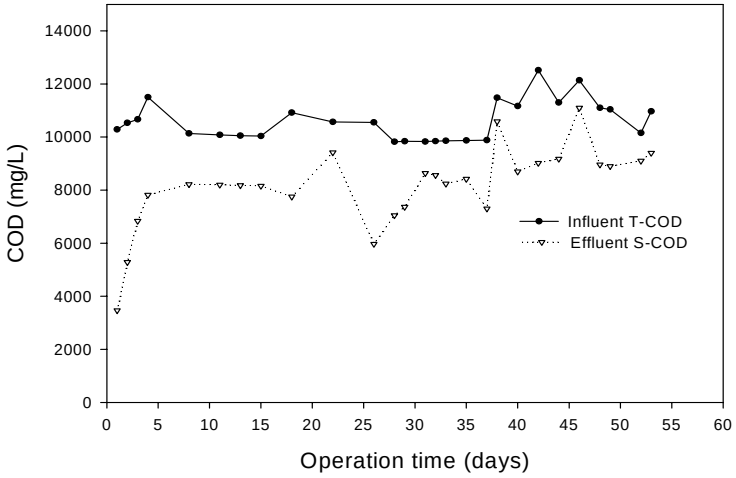
	1.45L reactor			0.32L reactor		
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
Influent COD(㎎/L)	10,000	3,000	3,000	10,000	3,000	3,000
pH	6.03-6.99	6.88-7.65	6.35-7.03	5.67-7.32	7.06-8.14	6.61-7.71
Total Alkalinity (㎎/Las $CaCO_3$)	2,439-8,674 (6,618)	2,401-3,445 (3,033)	2,439-3,269 (2,907)	2,794-7,990 (5,424)	1,962-4,739 (2,965)	1,986-3,419 (2,918)
Volatile acid (㎎/L)	3,500-5,730 (4987)	35-525 (162)	915-1,732 (1506)	2,650-4,989 (3971)	15-45 (47.5)	18-130 (50.3)
VA/TA	0.68	0.05	0.52	0.73	0.02	0.02



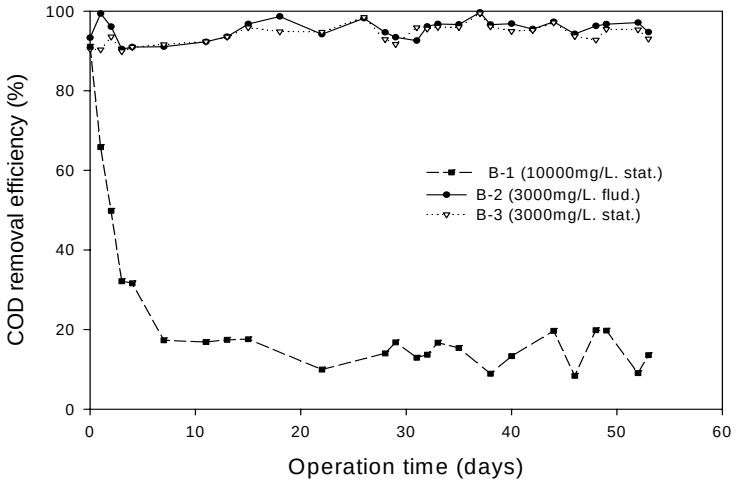
[그림 85] Variation of Influent and effluent COD concentration on reactor B-2 and B-3 during operation time.



[그림 86] Variation of COD concentration in reactor A-2 & A-3 during operation time



[그림 87] Variation of Influent and Effluent COD concentration in B-1 reactor



[그림 88] Variation of COD removal efficiencies in each reactor according to operation time

혐기성 소화조의 상태를 나타내는 인자인 휘발성 산/ 알카리도의 비를 보아도 10,000 mgCOD/L의 유기물 농도가 주입된 A-1 반응조의 경우 0.68로서 산 축적에 의한 심각한 저해 현상이 일어나는 것을 보여준다.

한편, 반응조의 직경을 줄인 0.32L 반응조로 10,000 mgCOD/L의 농도가 주입되면서 반송 없이 운전한 B-1의 경우 운전기간 중 pH는 5.76~7.32로서 타 반응조에 비하여 다소 낮은 값을 나타내었는데 이 역시 반응조내 휘발성 산의 축적에 의한 결과로 생각된다.

같은 3,000 mgCOD/L의 유기물 농도가 유지되는 동일 조건하에서 반응조내 상향유속이 2 m/hr가 되게 반송을 시킨 B-2 반응조와 반송을 시키지 않은 B-3 반응조를 비교해 보면 운전시간 경과에 따른 유입수 COD 농도와 유출수 COD 농도를 비교해 놓은 [그림 85]에서 볼 수 있는 바와 같이 반송의 유무에 관계없이 거의 비슷한 효율을 나타내었다.

일반적으로 상향류식 혐기성 반응조에 있어서 반송은 유기물과 미생물의 접촉효율을 증가시키며, 반응조내 적정한 상향유속을 유지시키기 위하여 반송은 필요하다고 알려져 있으나 본 실

험의 경우 상등수 재순환을 실시한 B-2 반응조의 경우 유기물 제거효율은 같은 조건에서 상등수 재순환 없이 운전한 B-3 반응조의 94%에 비해 94.9%를 나타내어 별로 큰 차이를 나타내지 못한 것으로 평가되었다. 이는 본 실험에서 사용한 B-1, B-2, B-3 반응조의 경우 직경 3cm의 비교적 작은 직경을 갖는 반응조였으므로 생성된 가스의 부상에 의해서 슬러지층의 혼합이 일어났으며 이러한 슬러지층의 가스 생성에 따른 혼합으로 슬러지층 내의 유동이 컸을 것으로 생각되며 그 결과 안정된 처리가 가능하였던 것으로 판단된다.

이는 같은 조건하에서 반응조 직경과 용량만 다른 A-2 반응조, A-3 반응조의 처리효율을 나타낸 [그림 86]의 결과와 비교해 보면 더 잘 알 수 있다. 즉, 동일 조건하에서 상등수 재순환 여부만 달리한 A-2, A-3 반응조의 경우 반송유무를 달리한 35일째 까지는 반송을 행한 A-2 반응조의 COD 제거효율이 89.6%였는데 비해 반송을 행하지 않은 A-3 반응조의 경우 20.6%의 제거효율을 나타내어 상등수 재순환에 따른 영향이 뚜렷하였다.

한편, 10,000 mgCOD/L의 유기물 농도를 적용한 B-1 반응조의 경우 [그림 87]에서 보다시피 운전 시작 후 곧 유출수 농도가 급격히 증가하여 거의 처리가 되지 않는 현상을 초래하였다. 이는 유입기질의 유기물 농도가 높은 경우 반응조 내 유기산이 축적된 결과로 생각되며, 상등수 재순환 등으로 인한 슬러지층의 유동을 시키지 못하는 경우에 고부하 소화조의 경우 반응조 운전이 실패한다는 것을 나타내며 본 연구에서 소화조 start-up이 실패하였던 원인을 설명하여 주는 결과이기도 하다고 판단된다.

3,000 mgCOD/L의 유기물 농도를 적용시킨 B-3 반응조의 경우 상등수 반송이 없이도 높은 유기물 제거효율을 얻을 수 있었는데 비해 10,000 mgCOD/L의 유입수를 적용한 B-1 반응조이 경우에는 슬러지의 불활성화가 일어나 반응조 운전이 실패하였고, 반응조 운전 초기 start-up 시 이러한 불활성화 현상이 생기면 활성도 회복은 불가능한 것으로 판단되며 이는 [그림 87]을 통해서도 알 수 있다.

이상과 같은 운전 결과를 통하여 비교적 고농도인 10,000 mgCOD/L의 유기물 농도를 주입하고 있는 B-1 반응조의 경우 상등수 재순환을 통하여 초기에 슬러지층을 유동시키지 않으면 식종 슬러지의 불활성화가 일어나는 것으로 평가되며, 일단 start-up때 이러한 불활성화가 일어나면 활성도 회복은 불가능한 것으로 판단된다. [그림 88]에서 볼 수 있다시피 3,000 mgCOD/L의 유기물 농도가 유지되는 B-2, B-3 반응조의 경우 상등액 재순환 유무와 관계없이 비슷한 처리효율을 보였는데, 이는 직경이 작은 반응조의 경우 생성가스의 분출에 의해서도 슬러지층의 유동이 일어나므로 슬러지의 불활성화가 일어나지 않은 것으로 판단된다.

이와 같은 실험을 통하여 특히 고농도 또는 고부하로 운전되는 소화조에 있어서 상등액의 반송을 통하여 반응조내에 2m/hr 이상의 상향유속이 유지되게 운전하는 것이 중요하며 특히 이러한 상등액 재순환을 통한 적정 상향유속의 유지는 운전 초기부터 실시하여야 한다는 것을 확인할 수 있다.

제 6장 연구성과

제 1 절 폐수 처리 분야

1. 김성주, 박홍석, “SBR공정에서 염분함유폐수의 유기물 및 질소제거 연구”, 2005년도 한국폐기물학회 추계학술발표회 논문집, pp.343-347(2005)

2. Sung-Joo Kim, Eldon R. Rene, Sang-Yoon Lee, Dae-Hee Lee, Hung Suck Park, “Operation of sequential batch reactor for the treatment of fish market cleaning wastewater”, Chemical Engineering World, India, October, pp 70～74(2006)

3. 김성주, 박홍석, SBR공정을 이용한 위판장폐수에서 유기물 및 질소제거(물환경학회 심사중)

4. Sung-Joo, Eldon R. Rene, Sang-Yoon Lee, Dae-Hee Lee Hung Suck Park, ″ Development of Neural Network Based Prediction Model for a SBR″ (in preparation)

5. Eldon R. Rene, Dae-Hee Lee, Hung Suck Park, ″Full Factorial Desaign Based Experimental Design to Estimate the Optimum Operating Conditions of a Sequencing Batch Reactor(SBR)(in preparation)

제 2 절 폐기물 처리 분야

1. 정병곤, 김병효(2005). 내부반송을 통한 슬러지층 유동화가 생선폐기물 처리용 소화조의 운전효율에 미치는 영향, 한국폐기물학회지, Vpl. 22 No. 8, pp. 685-690.

2. 정병곤, 김병효(2006). BMP Test를 이용한 수산물 위판장에서 발생되는 생선폐기물의 생분해도 연구, 한국폐기물학회 Vol. 23, No. 3, pp. 207-212.

3. 정병곤, 김병효(2005). 생선폐기물 처리시스템으로 Dry Fermentation 적용가능성 평가를 위한 생분해도 연구, 한국폐기물학회 2005년도 추계학술연구발표회 논문집, 수원대학교, 2005. 11. 10 - 11. 12, pp. 306-309.

4. 정병곤, 차왕석, 김병효, 강광기(2005). 생선폐기물의 탄화처리, 한국폐기물학회 2005년도 추계학술연구발표회 논문집, 수원대학교, 2005. 11. 10 - 11. 12, pp. 231-234.

5. 정병곤, 김병효(2005). 슬러지층 유동화가 어류폐기물 처리용 소화조의 운전효율에 미치는 영향, 한국폐기물학회 2005년도 추계학술연구발표회 논문집, 수원대학교, 2005. 11. 10 - 11. 12, pp. 352-355.

6. 정병곤, 김병효(2005). 수산물 위판장 폐기물의 처리를 위한 혐기성 소화조의 Start-up에 있어서 반응조 형상 및 슬러지층 유동화가 미치는 영향, 대한환경공학회 2005 추계학술연구발표회 논문집, 한서대학교, 2005. 11. 3 - 11. 5, pp. 1487-1493.

7. 정병곤, 김병효(2005). 내부반송을 통한 슬러지층 유동화가 수산폐기물 처리용 소화조의 운전효율에 미치는 영향, 대한환경공학회 2005 추계학술연구발표회 논문집, 한서대학교, 2005. 11. 3 - 11. 5, pp. 1494-1500.

제 7 장 활용방안

본 과제는 적정 처리기술의 개발을 통해 수산물 위판장에서 발생되는 폐수 및 폐기물로부터의 환경오염을 최소화하는데 목표를 두고 연구를 진행하였다. 하지만 과제 수행기간동안의 하수도 정책과 해양환경 정책 등의 변화로 인해 위판장에서 발생되는 폐수는 하수 연계처리 쪽으로 추진되고 있는 실정이다. 따라서, 본 과제의 결과물이 신규 대규모 위판장 폐수처리장 건설분야의 활용보다는 도서지역, 낙도 등 하수연계처리가 어려운 지역과 기존 위판장 폐수처리시설의 효율개선 분야 등에서 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 특히 처리장 운영을 위한 상주인력이 없는 해역의 도서, 낙도 등에서의 적용성은 매우 높으며, 운영상의 효율성을 높이기 위하여 자동화된 SBR 시스템의 도입 등이 검토될 수 있다.

또한 연근해 양식장에서 배출되는 폐수의 경우 고농도 유기물, 영양염류 및 염분을 포함하고 있다는 점에서 공통점이 있으며, 염분함유 폐수처리 분야에서의 고농도 유기물 및 영양염류 제거 측면에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

제 8 장 연구개발비 집행내역

제 1 절 폐수 처리 분야

(단위 : 원)

비 목	당해년도 연구비	집 행 액	잔 액
ㅇ **인건비**			
내부 (1)명			
외부 (3)명	10,980,000원	10,980,000원	0원
ㅇ **직접비**			
재료비 및 전산처리·관리비	11,300,000원	10,370,600원	929,400원
시작품제작비	8,520,000원	8,709,080원	-189,080원
여 비	2,000,000원	2,205,600원	-205,600원
수용비 및 수수료	1,880,000원	2,212,080원	-332.080원
기술정보활동비	480,000원	571,000원	-91,000원
연구활동비	840,000원	951,640원	-111,640원
ㅇ **간접비**			
간접경비	4,000,000원	4,000,000원	0원
계	40,000,000원	40,000,000원	0원

제 2 절 폐기물 처리 분야

(단위 : 원)

비 목	당해년도 연구비	집 행 액	잔 액
ㅇ 인건비			
외부인건비	10,560,000원	10,560,000원	0원
ㅇ 직접비			
재료비 및 전산처리비	12,823,000원	12,823,000원	0원
여비	5,028,000원	5,028,000원	0원
수용비 및 수수료	722,000원	722,000원	0원
기술정보 활동비	2,630,000원	2,630,000원	0원
연구활동비	1,487,000원	1,487,000원	0원
ㅇ 간접비			
간접경비	1,750,000원	1,750,000원	0원
계	35,000,000원	35,000,000원	0원

제 9 장 참고문헌

제 1 절 폐수 처리 분야

1. 신항식, 백병천, “연속회분식 반응기를 이용한 수산물가공폐수 처리” 상하수도학회지, 8(1), pp.18-27(1994).

2. 신항식, 전항배, 박홍석, “연속회분식 반응조를 이용한 질소와 인의 동시제거”, 대한토목학회 논문집, 제9권, 제1호, pp.19-26(1989).

3. 송창수, 오준성, “SBR공정에서 영양염류 제거에 대한 염분의 영향” 한국물환경학회지, 18권 3호, pp.237-243(2002)

4. 문병현, 윤조희, 서규태, 김상수, “SBR에서 염분농도와 C/N비가 오염물질의 제거에 미치는 영향”, 대한환경공학회 Vol. 24. No. 2. pp.251-260(2002)

5. Insraxungkha, N., Keller, J., and Blackall, L., "Biological Nutrient Removal Efficiency in Treatment of Saline Wastewater." *Water Sci. Technol.*, 39(6), pp.180-190(1999)

6. 문병현, 김상수, 윤조희, 윤태경, 이강춘, “ 염분 및 C/N비가 floc의 특성과 슬러지 농축에 미치는 영향”, 한국폐기물학회지, 제19권, pp.466-472(2002)

7. Ahmet Uygur, Fikret Kargi, "Salt inhibition on biological nutrient removal from saline waste -water in a sequencing batch reactor", *Enzyme and Microbial Technology* 34, pp.313 - 318(2004).

8. Urbain, V., Block, J. C. and Manem, J., Bioflocculation in Activated Sludge Analitic Approach, *Water Search*, 25(4), pp.441-443(1992).

9. Panswad, T. and Anan, C., "Specific oxygen, ammonia, and nitrate uptake rates of a biological nutrient removal process treating elevated salinity wastewater," *Bioresour. Technol.*, 70, pp.237-243(1999).

10. 최형섭, 문병현, 허종수, 차수길 “활성슬러지와 부직포 막의 조합공정에 의한 염분함유 폐수처리”, 대한환경공학회, 97년 춘계학술연구발표회, pp.488-491(1997).

11. Liao, P.H, May, A.C., and Chieng, S.T., "Monitoring process efficiency of a full-scale in-vessel system for composting fisheries wastes" *Bioresource Technology*, 54,

pp.159-163(1995).

12. Liao, P.H., Jones, L., Lau, A.K., Walkemeyer, S., Egan, B., and Holbek, N., "Composting of fish wastes in a full-scale in-vessel system", *Bioresource Technology*, 59, pp.63-168(1997).

13. 신항식, 권중천, 구자공, " 질소제거를 위한 연속회분식 반응조의 운전방식 연구", 대한토목학회 논문집, 제 8 권, 제 2 호, pp.77-88(1988).

14. Panswad, T and Anan, C., "Impact of high chloride wastewater on an anaerobic/anoxic/aerobic process with and without inoculation of chloride acclimated seeds", *Water Research*, 33(5), pp.1165-1172(1999).

15. Panswad, T and Anan, C., "Specific oxygen, ammonia, and nitrate uptake rates of a biological nutrient removal process treating elevated salinity wastewater", *Bioresource Technology*, 70, pp.237-243(1999).

16. 김대영 외 3인, "고농도 염분 함유 폐수의 생물학적 질산화 특성.", 한국물환경학회 · 대한상하수도학회 2001년 공동 추계학술발표회 논문집, pp.419-422(2001).

17. Brown, M. J. and Lester, J. N, "Comparison of bacterial extracellular polymer extraction method, *Applied and Environmental microbiology*, Vol. 40(1980).

18. 서정범, 황창민, "활성슬러지 공법의 생분해성 및 침강성에 미치는 염분 농도의 영향", 한국물환경학회지, 19권 6호, pp.741-749(2003).

19. 김정훈, "아질산 축적에 의한 고효율 질소 제거의 설계 및 운전인자 연구", 박사학위논문(2005)

20. 배우근 외 2명 공역, "생물환경공학", McGraw-Hill, pp.507-542(2002).

21. 김상수, " SBR을 이용한 염분함유 폐수의 처리시 염분농도의 변화가 오염물질 제거와 생물학적 floc의 형태특성에 미치는 영향에 관한 연구", 석사학위논문(2001)

23. Irivinc, R.L. and Bush, A.W., "Sequencing Batch Biological Reactors and Overview," *J. WPCF*, Vol.51, pp.235(1970)

24. Riddle M.J. and Murphy K.L, "An Effluent Study of a Fresh Water Fish Processing Plant," *The Proceeding of the 27th Industrial Waste conference Purdue University*,

pp.777-791(1972).

25. Rittmann, B.E., McCarty P. L. "*Environmental Biotechnology : Principles and Applications*", McGraw-Hill(2001).

26. Tchobanlglous G., F.L. Burton, H.D. "*Stensel Wastewater Engineering 4th edition*", Metcalf & Eddy(2003).

27. Painter, H.A. "A review of literature on inorganic nitrogen metabolism in microorganisms", *Wat. Res.*, 4, pp.493-450(1970).

28. Eylar, O.R., E.L. Schmidt "A survey of heterotrophic microorganisms from soil for ability to form nitrite and nitrate", *J. Gen. Microbial.*, 20, pp.473(1959).

29. Verstreate, W., M. Alexander. "Heterotrophic nitrification by Arthrobacter sp"., *J. Bacteriol.*, 110, pp.955-961(1972).

30. Bock. E., P.A. Wilderer., A. Freitag. "Growth of nitrobacter in the absence of dissolved oxygen", *Wat. Res.*, 22, pp.245(1988).

31. Focht, D.D., A.C. Chang "Nitrification and denitrification processes related to wastewater treatment", *Adv. Appl. Microbial.*, 20, pp.631(1975).

32. Poduska, R.A. "*A dynamic model of nitrification for the activated sludge process*", Ph. D. Thesis, Clemson University(1973)

33. U.S. EPA *Manual of nitrogen control*, EPA/625/R-93/010, Washington, DC(1993).

34. Al-Shayji, K. A. and Y. A. Liu(2002). Predictive modeling of large-scale commercial water desalination plants: Data-based neural network and model-based process simulation. *Ind. Eng. Chem. Res.,* 41(25), 6460-6474.

35. Fausett, L. V. *Fundamental Neural Networks: Architecture, Algorithms and Applications*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.

37. Haykin, S. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Macmillan College Co., New York, New York, 1994.

38. Lee, T. L. (2004) Back propagation neural network for long term tidal predictions.

Ocean Eng., 31, 225-238.

39. Maier, H. R. and G. C. Dandy(2001) Neural network based modelling of environmental variables: A systematic approach. *Math. Comp. Mod.*, 33(6-7), 669-682.

40. Montgomery, D. C. *Design and Analysis of Experiments*, 3rd ed., Wiley, New York, 1991.

41. Chen, B-J., Li, P-F., Liu, M-Q., Zhang, R-C(2006) Some results on blocked regular 2-level fractional factorial designs with clear effects, *J. Stat. Plan. and Inf.,* 136 (12), 4436-4449.

42. Rodríguez-Nogales,J.M., Ortega,N., Perez-Mateos, M. and Busto, M.D (2006) Experimental design and response surface modeling applied for the optimization of pectin hydrolysis by enzymes from *A. niger* CECT 2088, *Food Chem.*, (In Press)

43. Gómez,V., Pasamontes, A. and Callao, M.P(2006) Factorial design for optimizing chromium determination in tanning wastewater, *Microchem. J.*, 83 (2), 98-104.

제 2 절 폐기물 처리 분야

1. 박상우(2005). 탄화에 의한 폐기물 연료화 기술, 한국폐기물학회지, 제22권 제3호, 226-235.

2. 정병곤, 윤종호, 양병수. (1995), UASB 반응조내에서 수소분압이 슬러지 입상화에 미치는 영향(I) -수소분압에 따른 슬러지 입상화 속도비교-, 한국폐기물학회지 제12권 제4호 437-449.

3. 황상순(2003). 유기성 폐기물 탄화기술의 개발동향 : 습식탄화기술의 개요 및 타당성 검토. 폐기물 자원화, 제11권 제3호, 9-15.

4. APHA, AWWA, WPCF. (1996). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Ed.

5. Chynoweth, D. P. (1978). Biomethanation of giant brown kelp Macrocystis pyrifra. "Paper presented at Symposium on Energy from Biomass and Waste, August 14-18, Washington, D. C. U.S.A.

6. Chynoweth, D. P., Turick, C. E., Owen, J. M., Jerger, D. E. and Peck, M. W.(1993).

Biochemical methane potential of biomass and waste feedstocks, Biomass and Bioenergy, 5(1), 95-111.

7. Dolfing, J. and W. G. M. B. Bloemen(1985). Activity measurements as a tool to characterize the microbial composition of methanogenic environments, Journ. Microbiol. Meth., 4, 1-12.

8. Gossett, J. M. (1975). Heat treatment of refuse for increasing anaerobic biodegradability. Civil Engineering Technical Report, No. 198, Stanford University, Stanford.

9. Hashimoto, A. G. and Chen, Y. R.(1978). Kinetics of methane fermentation, Biotechnol. Bioeng., Symp., No. 8, 269.

10. Hashimoto, A. G.(1986). Pretreatment of wheat straw for fermentation to methane. Biotech. Bioeng., 28, 1857-1866.

11. Hungate, R. E.(1969). A roll tube method for cultivation of strict anaerobes. NORRIS, J. R. and D. W. RIBBONS, Method in microbiology, 38. 117-132.

12. Jerger, D. E. and Chynoweth, D. P.(1987). Anaerobic digestion of Sorghum biomass, Biomass, 14, 99-113.

13. Miller, T. C. and Wolin, M. J. (1974). A serum bottle modification of the Hungate technique for cultivating obligate anaerobes, Appl. Microbiol., 27, 985-987.

14. Min-Ju Moon(1993). Treating Food Waste by Anaerobic Digestion, Master thisis of KAIST

15. Owen, W. P., Stuckey, D. C., Healy, J. B., Young, L. Y. & McCarty, P. L. (1979). Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. Water Res., 13, 485-492.

16. Owens, J. M. and Chynoweth, D. P. (1992). Biochemical Methane Potential of MSW Components, 5th Inter. Symp. on AD of Solid Waste, Venice, Italy, pp. 29-42.

17. Owens, J. M. and Chynoweth, D. P.(1993). Biochemical methane potential of Municipal Solid Waste(MSW) components, Wat. Sci. Tech., 27(2), 1-4.

18. Peres, C. S., Sanches, C. R., Matumoto, C. and Schmidell, W. (1991). Anaerobic

Biodegradability of the Organic Components of Municipal Solid Wastes (OFMSW), Proceedings of the 6th Anaerobic Digestion Symp., San Paulo, pp. 283-291.

19. Shelton, D. R., and Tiedje, J. M. (1984). General method for determining anaerobic biodegradation potential, Appled & Environmental Microbiology, Vol. 47, 850-857.

20. Shin, H. S., Song, Y. C. and Mun, M. J.(1993). A study on the feasibility of anaerobic digestion of food wastes by biodegradability test, J. Korean Solid Wastes Eng. Society, Vol. 10, No. 1, 35-42.

21. Terry, L. Miller and M. J. Wolin(1974). A serum bottle modification of the Hungate technique for cultivating obligate anaerobes. App. Microbio.., 27, 985-987.

22. Valcke, D. and W. Verstraetr(1983). A practical method to estimate the acetoclastic methanogenesis biomass in anaerobic sludge. J. WPCF., 55, 1191-1195.

23. 本多裕姬(2001). 廢棄物炭化處理システムの開發事例 エヌ・ティ-・エス, pp. 245-258.

24. 日本 環境省(2004). 廢棄物 理施設整備國庫補事助業に係るごみ 理施設の性能に關する指.

※ 연속회분식 반응조 공정 설계 예

아래와 같은 성상을 가진 50㎥/d의 수산물 위판장 폐수를 처리할 수 있도록 연속 회분식 반응공정을 설계하고자 하였다. 전체 용적기준 반응조 혼합액의 농도는 3500g/㎥이고 온도는 12℃이다.

하수특성

성분	농도, g/㎥
BOD	300
sBOD	100
COD	530
sCOD	100
rbCOD	30
TSS	250
VSS	230
TKN	55
NH_4-N	45
TP	8
알칼리도	400 as $CaCO_3$
bCOD/BOD비	1.5

참조 : g/㎥=㎎/L.

◆ 설계조건과 가정사항 :

1. 유출깊이=반응조 깊이의 40%
2. SVI=150mL/g
3. NO_X ≒ TKN의 80%
4. [표 1]과 [표 2]의 반응속도 계수를 적용한다.

[표 1] 20℃에서 종속영양미생물의 활성슬러지 반응속도 계수

계수	단위	범위	전형적인 값
μ_m	g VSS/g VSS • d	3.0~13.2	6.0
K_S	g bCOD/㎥	5.0~40.0	20.0
Y	g VSS/g bCOD	0.30~0.50	0.40
k_d	g VSS/g VSS • d	0.06~0.20	0.12
f_d		0.08~0.20	0.15
μ_m		1.03~1.08	1.07
k_d		1.03~1.08	1.04
K_S		1.00	1.00

[표 2] 20℃에서 활성슬러지의 질산화 반응속도 계수

계수	단위	범위	전형적인 값
μ_{mn}	g VSS/g VSS • d	0.20~0.90	0.75
K_n	g NH_4-N/㎥	0.5~1.0	0.74
Y_n	g VSS/g NH_4-N	0.10~0.15	0.12
k_{dn}	g VSS/g VSS • d	0.05~0.15	0.08
K_o	g/㎥	0.40~0.60	0.50
μ_n		1.06~1.123	1.07
K_n		1.03~1.123	1.053
k_{dn}		1.03~1.08	1.04

◆ 설계

1. 하수의 특성을 결정한다.

a. bCOD = 1.6(BOD) 을 이용하여 bCOD를 결정.

bCOD = 1.5(300g/㎥) = 450g/㎥

b. $\frac{bpCOD}{pCOD} = \frac{(bCOD/BOD)(BOD - sCOD)}{COD - sCOD}$ 를 이용하여 nbVSS농도를 결정.

$\frac{bpCOD}{pCOD} = \frac{1.5[(300-100)g/m^3]}{[(530-100)g/m^3]} = 0.7$

nbVSS = (1-0.7)(230g/㎥) = 69g/㎥

c. iTSS를 계산한다.

iTSS = TSS_0 - VSS_0
= (250 - 230)g/㎥ = 20g/㎥

2. SBR운전주기를 결정한다.

전체 운전시간(T_c)는 주입시간 (t_F), 반응/포기(t_A), 침전(t_S), 그리고 유출시간(t_D)으로 구성된다. 휴지시간 (idle time, t_I)이 포함될 수 있다.

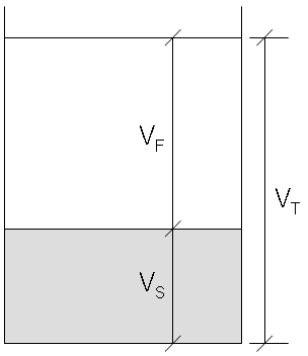
따라서 전체 운전시간은 $T_c = t_F + t_A + t_S + t_D + t_I$ 이다.

전체 반응시간, T_c = 2 +(4+4) +1 +1 = 12hr/cycle

주기 수/조 • 일 = $\frac{(24h/d)}{(12h/cycle)}$ = 2

유출용적/cycle = $\frac{(50m^3/d)}{(2cycles/d)}$ = 25㎥/fill

3. 한 주기당 허용 유입분율 (V_F/V_T)를 결정하고 선택된 설계값 0.4와 비교한다.



a. 반응조에서 고형물을 기초로 하여 물질수지를 세운다.

만수용적에서 고형물의 양 = 침전된 고형물의 양

$V_TX=V_SX_S$

여기서, V_T = 전체 부피, ㎥
X = 만수용적의 MLSS농도, g/㎥
V_S = 유출 후 침전된 용적, ㎥
X_S = 침전된 용적에서 MLSS농도, g/㎥

b. 물질수지를 계산하고, 주입분율/주기를 결정한다.

i. 가정된 SVI값 150mg/L에 근거하여 X_S값을 계산한다.

$$X_S = \frac{(10^3 \text{mg/g})(10^3 \text{mL/L})}{(\text{SVI, mL/g})} = \frac{(10^3 \text{mg/g})(10^3 \text{mL/L})}{(150 \text{mL/g})} = 6.666 \text{g/m}^3$$

$$X = 3500 \text{g/m}^3$$

ii. 침전된 부분의 분율을 결정한다.

$$\frac{V_S}{V_T} = \frac{X}{X_S} = \frac{(3500 g/m^3)}{(6666 g/m^3)} = 0.525$$

$$\frac{V_S}{V_T} = 1.2(0.525) = 0.63$$

iii. 유입분율을 결정한다.

$$V_F + V_S = V_T$$

여기서, V_F = 유입 부피, ㎥

$$\frac{V_F}{V_T} + \frac{V_S}{V_T} = 1.0$$

$$\frac{V_F}{V_T} = 1.0 - 0.63 = 0.37$$

선택한 $V_F/V_T = 0.4$ 는 유용하다.

4. 총 수리학적 체류시간 τ를 결정한다.

배출(decant)시 수위 = 0.4(1m)=0.4m

$$V_F = \frac{V_F/조조}{0.4} = \frac{(25 m^3/조)}{0.4} = 62.5 m^3/조조$$

$$전체\ 체류시간\ \tau = \frac{(62.5 m^3/조)(24 h/d)}{(50 m^3/d)} = 30 h$$

5. SRT를 결정한다.

a. ($P_{X,TSS}$)SRT를 풀기 위해 사용가능한 상관관계를 얻기 위하여 아래 식[1], [2], [3]을 이용.

$$P_{X,VSS} = \frac{QY(S_o - S)(1kg/10^3 g)}{1 + (k_d)SRT} + \frac{(f_d)(k_d)QY(S_o - S)SRT(1kg/10^3 g)}{1 + (k_d)SRT}$$

$$+ \frac{QY_n(NO_x)(1kg/10^3 g)}{1 + (k_{dn})SRT} + Q(nbVSS)(1kg/10^3 g) \quad \cdots\cdots\cdots [1]$$

$$P_{X,TSS} = \frac{A}{0.85} + \frac{B}{0.85} + \frac{C}{0.85} + D + Q(TSS_o - VSS_o) \quad \cdots\cdots\cdots [2]$$

이용된 산소 = 제거된bCOD - 폐슬러지의 COD ····· [3]

$$(P_{X,TSS})SRT = \frac{QY(S_o - S)SRT}{[1 + (k_d)SRT](0.85)} + Q(nbVSS)SRT + \frac{QY_n(NO_x)SRT}{[1 + (k_{dn})SRT](0.85)} + \frac{(f_d)(k_d)Q(Y)(S_o - S)SRT^2}{[1 + (k_d)SRT](0.85)} + Q(TSS_0 - VSS_0)SRT$$

$$(P_{X,TSS})SRT = (V)(X_{MLSS}) = (50m^3)(3500g/m^3) = 175,000g$$

b. 이상의 상관관계에서 SRT를 구하기 위하여 적용한 자료로 만든다.

$nbVSS$ = 69g/㎥ (1단계로부터)

$S_o \approx S_o - S$ 라고 가정한다.

$S_o = bCOD = 450g/m^3$ (1a단계)

$Q = 50m^3/d$

$iTSS_0$ = TSS_0 - VSS_0 = (250 - 230)g/㎥(1c단계) = 20g/㎥

NO_x = (0.80)(55g TKN/㎥) = 44g/㎥

[표 1]과 [표 2]에서 반응속도 계수는 :

Y = 0.40g VSS/g bCOD

$k_{d,12centigrade}$ = 0.12g/g・d$(1.04)^{12-20}$ = 0.088g/g・d

Y_n = 0.12g VSS/g NO_x

$k_{dn,12centigrade}$ = 0.08g/g・d$(1.04)^{12-20}$ = 0.06g/g・d

f_d = 0.15g/g

이 값들을 상기 식에 대입하고 계산하면 다음과 같다.

$$175,000g = \frac{(50m^3/d)(0.40gVSS/gbCOD)(450g/m^3)(SRT)}{[1 + (0.088g/g \cdot d)(SRT)](0.85)} + (50m^3/d)(69g/m^3)(SRT) + \frac{(50m^3/d)(0.12g/g)(44g/m^3)(SRT)}{[1 + (0.06g/g \cdot d)(SRT)](0.85)} + \frac{(0.15g/g)(0.088g/g \cdot d)(0.40gVSS/gbCOD)(50m^3/d)(450g/m^3)(SRT)^2}{[1 + (0.088g/g \cdot d)(SRT)](0.85)} + (50m^3/d)(20g/m^3)(SRT)$$

SRT를 계산한다.

SRT = 24.2d

6. MLVSS농도를 결정한다.

a. 식 MLVSS 질량 = $(X_{VSS})(V) = (P_{X,VSS})SRT$를 계산한다.

$(SRT = 25day)(S_o \approx S_o - S)$.

$(P_{X,VSS})SRT = V_T(X_{MLVSS})$

$$(P_{X,VSS})SRT = \frac{Q(Y)(S_o - S)SRT}{1 + (k_d)SRT} + Q(nbVSS)SRT$$

$$+ \frac{Q(Y_n)(NO_x)SRT}{1 + (k_{dn})SRT} + \frac{(f_d)(k_d)(Q)(Y)(S_o - S)(SRT)^2}{1 + (k_d)SRT}$$

$$= \frac{(50m^3/d)(0.40gVSS/gCOD)(450g/m^3)(20d)}{[1 + (0.088g/g \cdot d)(20d)]} + (50m^3/d)(69g/m^3)(20d)$$

$$+ \frac{(50m^3/d)(0.12gVSS/gNO_X)(44g/m^3)(20d)}{[1 + (0.06g/g \cdot d)(20d)]}$$

$$+ \frac{(0.15g/g)(0.088g/g \cdot d)(0.40gVSS/gCOD)(50m^3/d)(450g/m^3)(20d)^2}{[1 + (0.088g/g \cdot d)(20d)]}$$

$$= V_T(X_{MLVSS})$$

$V_T(X_{MLVSS}) = 182{,}405(m^3 \cdot g/m^3)$

$V_T = 62.5m^3$(단계4)

$V_T(X_{MLVSS}) = (62.5m^3)(X_{MLVSS})$

$182{,}405(m^3 \cdot g/m^3) = (62.5m^3)(X_{MLVSS})$

$(X_{MLVSS}) = 2918.5g/m^3$

b. MLVSS분율을 계산한다.

$$\frac{X_{MLVSS}}{X_{MLSS}} = \frac{2783.4g/m^3}{3500g/m^3} = 0.795 \simeq 0.8$$

7. (NO_x)로 산화된 NH_4-N의 량을 결정한다.

질소 물질수지식

$$NO_x = TKN_0 - N_e - 0.12P_{X,bio}/Q$$

$$P_{X,bio} = \left[emA + B + \frac{QY_n(NO_x)(1kg/10^3g)}{1+(k_{dn})SRT} \right]$$

$$P_{X,bio} = \frac{QY(S_o - S)}{1+(k_d)SRT} + \frac{QY_n(NO_x)}{1+(k_{dn})SRT} + \frac{(f_d)(k_d)QY(S_o - S)SRT}{1+(k_d)SRT}$$

$$= \frac{(50m^3/d)(0.40gVSS/gCOD)(450g/m^3)}{[1+(0.088g/g\cdot d)(25d)]} + \frac{(50m^3/d)(0.12gVSS/gNO_X)(44g/m^3)}{[1+(0.06g/g\cdot d)(25d)]}$$

$$+ \frac{(0.15g/g)(0.088g/g\cdot d)(50m^3/d)(0.40gVSS/gCOD)(450g/m^3)(25d)}{[1+(0.088g/g\cdot d)(25d)]}$$

$$= 3,846.2g/d = 3.85kg/d$$

$$NO_x = 55.0 - 2 - \frac{(0.12)(3.85kg/d)(10^3g/kg)}{(50m^3/d)}$$

$$NO_x = 43.8g/m^3$$

8. 4시간의 포기기간 동안 NH_4-N의 농도가 2g/㎥으로 제거될지를 결정하기 위하여 질산화정도를 확인한다.

a. 이용가능한 산화가능 N의 양을 결정한다.

NO_x = 43.8g/㎥ = 산화될 수 있는 유입유량 중 NH_4-N

주기당 첨가된 산화가능 NH_4-N:

$$V_F(NO_x) = 946.3m^3/cycle\,(26.0g/m^3) = 24,604g/fill$$

유입동안 남은 NH_4-N $= V_S(N_e)$

$N_e = 0.50g/m^3$ NH_4-N

$$V_S(N_e) = (N_e)(V - V_F) = (0.50g/m^3)[(3154 - 946.3)m^3] = 1104g$$

주기 초기에 총 산화가능한 $N = (24,604 + 1104)g = 25,708g$

초기농도 $= \frac{25,708g}{V_T} = \frac{25,708g}{3154m^3} = 8.15g/m^3 = N_0$

b. 반응시간을 결정한다.

$$K_n \ln \frac{N_o}{N_T} + (N_o - N_T) = X_n \left(\frac{\mu_{mn}}{Y_n}\right)\left(\frac{DO}{K_o + DO}\right)t$$

위 식을 이용하여 유입후 예상 NH_4-N의 농도를 이루기 위해 반응시간(포기)이 계산될 수 있다. 먼저, 질산화 미생물의 농도를 결정한다.

i. 질산화 미생물의 농도

$$X_n = \frac{Q(Y_n)(NO_x)SRT}{[1 + (k_{dn})SRT]V}$$

$$= \frac{(50m^3/d)(0.12gVSS/gNH_4 - N)(43.8g/m^3)(25d)}{[1 + (0.06g/g \cdot d)(25d)](62.5m^3)}$$

$$= 42.0g/m^3$$

$\mu_{m,12centigrade} = 0.75g/g \cdot d(1.07)^{12-20} = 0.44g/g \cdot d$

$K_{n,12centigrade} = 0.74g/m^3(1.053)^{12-20} = 0.49g/m^3$

$K_o = 0.50g/m^3$

ii. 반응시간을 계산한다.

$N_o = 18.30g/m^3$, $N_e = 2g/m^3$ 일 때의 t를 결정한다.

$$0.49\ln\left[\frac{(18.30g/m^3)}{(2g/m^3)}\right][(18.30 - 2)g/m^3]$$

$$= (42.0g/m^3)\left[\frac{(0.44g/g \cdot d)}{(0.12g/g)}\right]\left(\frac{2.0}{0.5 + 2.0}\right)t$$

$$t = 0.14days = 3.4h$$

c. 포기시간을 결정한다.

소요 포기시간 = 3.4hr
선정 포기시간 = 4hr
유입시간 = 2.0hr

9. 반응조당 산소요구량을 계산한다.

$$R_o = Q(S_o - S) - 1.41P_{X,bio} + 4.33Q(NO_x)$$
$$= (25m^3/d)(450g/m^3)(1kg/10^3g) - 1.42(3.85kg/d)$$
$$+ 4.33(43.8g/m^3)(25m^3/d)(1kg/10^3g)$$
$$R_o = 10.52kg/d$$

반응조당 포기시간:
한 주기당 포기시간 = 4hr
주기 수/일 = 2
총 포기시간 = 8h/d

$$\text{평균 산소전달율} = \frac{(10.52kgO_2/d)}{84h/d)} = 1.32kg/h$$

참조: 산소요구량은 포기초기에 더 높게 요구되므로 포기시스템의 산소전달 능력은 이러한 평균전달율보다 더 높아야만 한다. 산소전달율은 주기의 초기에서 충분한 산소전달율을 제공하고 첨두부하를 만족하기 위해 안전계수 1.5~2.0을 곱하여야 한다.

10. 슬러지 생산량을 결정한다. (MLSS = X_{TSS})

$$P_{X,TSS} = \frac{(V)(MLSS)}{SRT}$$
$$= \frac{(62.5m^3/tank)(3500g/m^3)(1kg/10^3g)}{25d}$$
$$= 8.75kg/d$$

$$\text{제거된 bCOD} = (50m^3/d)(450g/m^3)(1kg/10^3g) = 22.5kg/d$$
$$\text{제거된 BOD} = \frac{(22.5kgbCOD/d)}{(1.5kgbCOD/kgBOD)} = 15kg/d$$

관찰된 슬러지 생산량,

$$gTSS/gBOD = (\frac{10.9gTSS}{15gBOD}) = 0.73\frac{gTSS}{gBOD}$$

관찰된 슬러지 생산량,

$$\mathrm{gVSS/gBOD} = 0.73 \times \frac{0.83\mathrm{gVSS}}{\mathrm{gBOD}} = 0.61\frac{\mathrm{gVSS}}{\mathrm{gBOD}}$$

참조: 이 설계에서 비록 SRT가 높을지라도 CMAS설계에서 슬러지 생산량보다 슬러지 생산량은 더 크다. 1차처리가 사용되지 않기 때문에 하수의 nbVSS농도가 높기 때문이다. 또한 내생 분해계수는 미생물이 포기 또는 비포기상태에 관계없이 일정하다고 가정된다는 것을 주목하라. 비포기 기간의 많은 부분 동안 질산성질소가 존재하고, 내생분해계수는 더 낮아질 것이다. 분해계수가 정에 의해 포함될 수 있는 오차는 설계의 신뢰도에는 영향이 거의 없다.

11. F/M비와 BOD 용적부하를 결정한다.

a. F/M비

$$\mathrm{F/M} = \frac{\mathrm{kgBOD}}{\mathrm{kgMLVSS \cdot d}} = \frac{\mathrm{QS_0}}{\mathrm{XV}}$$
$$= \frac{(25\mathrm{m^3/d})(300\mathrm{g/m^3})}{(2783\mathrm{g/m^3})(62.5\mathrm{m^3})} = 0.04\mathrm{g/g \cdot d}$$

b. BOD 용적부하

$$\mathrm{L_{org}} = \frac{\mathrm{kgBOD}}{\mathrm{m^3 \cdot d}} = \frac{\mathrm{QS_0}}{\mathrm{V}}$$
$$= \frac{(50\mathrm{m^3/d})(300\mathrm{g/m^3})}{(62.5\mathrm{m^3})(10^3\mathrm{g/kg})} = 0.24\mathrm{kg/m^3 \cdot d}$$

12. 최종 설계 결과는 아래의 표와 같이 요약될 수 있다.

설계 인자	단위	값
평균유량	㎥/d	50
평균 BOD부하	kg/d	15
평균 TKN부하	kg/d	2.8
유입(fill)시간	h	2.0
총 포기(Total aeration)시간	h	4.0
무산소시간(Anoxic)	h	4.0
침전(settle)시간	h	1.0
배출(decant)시간	h	1.0
주기	h	12.0
총 SRT	h	25.0
반응조 용량	㎥	25
유입부피/조 용적	Ratio	0.4
반응조 깊이	m	1.0
MLSS	g/㎥	3500
MLVSS	g/㎥	2783
F/M	g/g・d	0.04
용적 BOD부하	kg/㎥・d	0.24
슬러지 생산량	kg/d	1299
관측 미생물 생산량	g VSS/g BOD	0.58
평균 산소요구량	kg/d	9.86
총 포기시간/일	h	8
평균 산소 전달율	kg/h	1.23

주 의

1. 이 보고서는 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.