Collection @ chosun

creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

Collection

[UCI]I804:24011-200000238408

Collection @ chosun

2009年 8月

博士學位論文

아이스크림 당 폐수처리의 최적공정에 관한 연구

朝鮮大學校 大學院
環境・生命工學科
薛 東 和

Collection @ chosun

아이스크림 당 폐수처리의 최적공정에 관한 연구

A Study on the Optimization Process of Ice-cream Sugar Wastewater Treatment

2009年 5月 日

朝鮮大學校 大學院

環境・生命工學科

薛 東 和

Collection @ chosun

아이스크림 당 폐수처리의 최적공정에 관한 연구

指 導 敎 授　崔 炯 一

이 論文을 工學博士 學位申請 論文으로 提出함.

2009 年 4 月 日

朝鮮大學校 大學院
環境・生命工學科
薛 東 和

Collection @ chosun

薛東和의 博士學位論文을 認准함

委員長	朝鮮大學校 敎授	鄭 京 勳	印
委 員	朝鮮大學校 敎授	申 大 允	印
委 員	木浦海洋大學校 敎授	金 于 伉	印
委 員	光州廣域市 保健·環境硏究院 部長	白 桂 辰	印
委 員	朝鮮大學校 敎授	崔 炯 一	印

2009 年 6 月

朝鮮大學校 大學院

Collection @ chosun

목 차

List of Tables ····· iii
List of Figures ····· viii
Abstract ····· xi

제 Ⅰ장 서 론 ····· 1
제1절 연구배경 ····· 1
제2절 연구목적 ····· 2

제 2 장 이론적 고찰 ····· 3
제1절 아이스크림의 출현과 시장 동향 ····· 3
제2절 아이스크림의 제조공정 ····· 6
제3절 아이스크림 공장의 환경배출물질 ····· 11
제4절 아이스크림 당 폐수발생 및 처리 ····· 43

제 3 장 실험장치 및 실험방법 ····· 67
제1절 실험 장치 ····· 67
제2절 실험 측정방법 ····· 68

제 4 장 실험결과 및 고찰 ····· 68
제1절 용적부하 별 처리효율 ····· 69
제2절 F/M비 별 처리효율 ····· 75
제3절 체류시간 별 처리효율 ····· 81
제4절 DO농도 별 처리효율 ····· 84

Collection @ chosun

제5절 수온 별 처리효율 ····· 89
제6절 유기산발효 처리효율 ····· 95
제7절 N, P 첨가효율 ····· 99
제8절 유기물 생체 전환율 ····· 111
제9절 생체 흡착율 ····· 115
제10절 생물탈취 ····· 126
제11절 순환 물질수지 ····· 129
제12절 당 폐수처리 공정개선 효율 ····· 132
제13절 최종 처리효율 ····· 173

제 5 장 결 론 ····· 179

참고문헌 ····· 182

Collection @ chosun

List of Tables

Table 1. Chronological table of ice cream production ····· 4
Table 2. Ratio of ice cream combination ····· 6
Table 3. Component ratio of sales in 2008 ····· 9
Table 4. Component ratio of ice cream sales ····· 9
Table 5. Total production of products ····· 10
Table 6. Amount of primary, secondary materials ····· 10
Table 7. Effluent standard of waste water ····· 11
Table 8. State of the primary effluent by each processing ····· 12
Table 9. State of waste water and report of installing disposal system ····· 13
Table 10. Status quo of waste water disposal ····· 14
Table 11. Standard table of heavy metals contended in raw material ····· 15
Table 12. Table of heavy metal analysis in industrial water ····· 15
Table 13. Effluent standard of the area 'Na' ····· 16
Table 14. Table of ingredients analysis in the sludge ····· 17
Table 15. Table of microorganisms analysis in the sludge ····· 18
Table 16. Concentration of heavy metals in $CaCl_2$ ····· 19
Table 17. Output of heavy metals from light bulbs waste ····· 20
Table 18. Output of heavy metals from waste oil ····· 21
Table 19. Components of solid waste oil, waste paint and combustibles ····· 22
Table 20. Components of solid waste oil, waste paint and

Collection @ chosun

exhaust gas ····· 23
Table 21. Output of heavy metals from waste food ····· 23
Table 22. Concentration of components from exhaust gas ····· 25
Table 23. Concentration of components in combustibles ····· 26
Table 24. Concentration of components in biscuit ····· 27
Table 25. Amount of waste from working place ····· 27
Table 26. Rate of water content in sludge cake ····· 28
Table 27. Concentration of measuring stinch ····· 30
Table 28. Discharge of coolant ····· 32
Table 29. Measurement of environmental noise ····· 33
Table 30. Amount of CO_2 emission from secondary material ····· 34
Table 31. Process of waste water disposal and the generation of greenhouse gas ····· 35
Table 32. Amount of Vocs emission ····· 36
Table 33. Emission of air pollutants ····· 37
Table 34. Chemical composition of RPF ····· 38
Table 35. Amount of burned gas of RPF ····· 39
Table 36. Pollutants emitted from RPF ····· 39
Table 37. Discharge of packing materials ····· 40
Table 38. Composition of waste packing materials ····· 41
Table 39. Amount of chemicals used ····· 42
Table 40. Unit of discharging sugar waste water ····· 44
Table 41. Amount of BOD in discharging sugar waste water ····· 46
Table 42. Chemical disposal process of ice cream ····· 49
Table 43. Standard of designing Extended aeration tank ····· 50
Table 44. Concentration for BOD disposal ····· 52

Collection @ chosun

Table 45. Concentration for COD disposal ····· 53
Table 46. Concentration for SS disposal ····· 53
Table 47. Concentration for N-H disposal ····· 53
Table 48. Concentration for T-N disposal ····· 54
Table 49. Concentration for T-P disposal ····· 54
Table 50. Ratio of C/N in sugar waste water ····· 55
Table 51. Ratio of BOD:COD ····· 56
Table 52. Ratio of ash in discharge water ····· 56
Table 53. Concentration for BOD disposal ····· 60
Table 54. Efficiency of biological disposal ····· 61
Table 55. Concentration for COD disposal ····· 62
Table 56. Concentration for SS disposal ····· 62
Table 57. Concentration for N-H disposal ····· 62
Table 58. Concentration for T-N disposal ····· 63
Table 59. Concentration for T-P disposal ····· 63
Table 60. Method of measurement by item ····· 68
Table 61. Input waste water ····· 69
Table 62. Efficiency of biological disposal ····· 70
Table 63. Extemded operation results of aerator ····· 71
Table 64. BOD volume load by each aerator ····· 72
Table 65. Treatment efficiency by volume load ····· 74
Table 66. F/M ratio by aerator according to month ····· 75
Table 67. MLSS concentration by aerator ····· 76
Table 68. SV_{30} by aerator according to month ····· 77
Table 69. SVI by aerator according to month ····· 78
Table 70. Treatment efficiency by F/M ratio ····· 80

Collection @ chosun

Table 71. HRT by aerator according to month ····· 81
Table 72. Treatment efficiency by HRT ····· 83
Table 73. Monthly DO concentration ····· 84
Table 74. Amount of air supply according to time ····· 86
Table 75. BOD treatment rate by DO concentration ····· 87
Table 76. Water temperature by aerator ····· 90
Table 77. BOD treatment rate by temperature ····· 91
Table 78. Treatment rate in low temperatures ····· 93
Table 79. Fermentation rate of organic acids ····· 97
Table 80. T-N treatment rate by process ····· 103
Table 81. Ratio of BOD:N ····· 103
Table 82. Operation conditions by aerator ····· 105
Table 83. Mixed liquids and state changes by aerator ····· 106
Table 84. T-P treatment rate by process ····· 109
Table 85. BOD:P ratio ····· 110
Table 86. BOD organism conversion rate ····· 112
Table 87. State of microorganisms in active sludge ····· 113
Table 88. Conversion rate of MLVSS ····· 114
Table 89. Amount of BOD absorption ····· 117
Table 90. Amount of SS absorption ····· 119
Table 91. Amount of N-H absorption ····· 121
Table 92. Amount of T-N absorption ····· 123
Table 93. Amount of T-P absorption ····· 124
Table 94. Circulating water input and output ····· 129
Table 95. Water loss due to evaporation ····· 131
Table 96. Treatment efficiency of air oxidation ····· 133

Collection @ chosun

Table 97. Treatment efficiency of air oxidation ····· 134
Table 98. Contact oxidation treatment ····· 136
Table 99. Contact oxidation treatment ····· 136
Table 100. Co-precipitation treatment concentration after adding. 200mg/ℓ PAC ····· 140
Table 101. Co-precipitation treatment concentration after adding. 200mg/ℓ PAC ····· 141
Table 102. Co-precipitation treatment concentration after adding. 100mg/ℓ PAC ····· 142
Table 103. Co-precipitation treatment concentration after adding. 100mg/ℓ PAC ····· 143
Table 104. SV_{30} improvement after adding. 249mg/ℓ PAC ····· 144
Table 105. Composition of olivine ····· 151
Table 106. Filtering efficiency of olivine ····· 153
Table 107. Filtering efficiency of olivine ····· 154
Table 108. Filtering efficiency of olivine ····· 155
Table 109. Sludge bulking control ····· 161
Table 110. Water quality deterioration in low temperatures ····· 166
Table 111. Active sludge seeding ····· 168
Table 112. Post-treatment efficiency ····· 173
Table 113. Treatment rate of the whole process in Extended aeration ····· 173
Table 114. Treatment rate of each tank in Extended aeration 174

Collection @ chosun

List of Figures

Fig. 1. Impeller scale. ····· 19
Fig. 2. BOD generation according to time. ····· 46
Fig. 3. BOD treatment concentration according to month. ····· 60
Fig. 4. COD treatment concentration according to month. ····· 64
Fig. 5. SS treatment concentration according to month. ····· 64
Fig. 6. N-H treatment concentration according to month. ····· 65
Fig. 7. T-N treatment concentration according to month. ····· 65
Fig. 8. T-P treatment concentration according to month. ····· 66
Fig. 9. Waste water treatment process. ····· 67
Fig.10. Volume load by aerator. ····· 72
Fig.11. F/M ratio by aerator. ····· 76
Fig.12. MLSS concentration by aerator. ····· 77
Fig.13. SV_{30} by aerator according to month. ····· 78
Fig.14. SVI by aerator according to month. ····· 79
Fig.15. HRT by aeration. ····· 82
Fig.16. DO concentration change by aerator. ····· 84
Fig.17. Amount of air supply according to time. ····· 86
Fig.18. BOD treatment rate by water temperature. ····· 91
Fig.19. Water temperature changes. ····· 94
Fig.20. Treatment rate in low temperatures. ····· 94
Fig.21. Rate of organic acid fermentation. ····· 98
Fig.22. BOD/N ratio. ····· 104
Fig.23. BOD:P ratio. ····· 110
Fig.24. Conversion rate of MLVSS. ····· 114

Collection @ chosun

Fig.25. Absorption rate of BOD. ····· 116
Fig.26. Absorption rate of SS. ····· 118
Fig.27. Absorption rate of N-H. ····· 120
Fig.28. Absorption rate of T-N. ····· 122
Fig.29. Absorption rate of T-P. ····· 125
Fig.30. Malodor measuring point. ····· 128
Fig.31. Composition of input waste water. ····· 129
Fig.32. Composition of out waste water. ····· 130
Fig.33. Treatment rate of air oxidation. ····· 134
Fig.34. HBC Bio-ring. ····· 135
Fig.35. HBC treatment rate. ····· 137
Fig.36. SV_{30} change after co-precipitation. ····· 145
Fig.37. Improvement effect by time passage PAC 360mg/ℓ. ····· 145
Fig.38. Improvement effect by time passage PAC 180mg/ℓ. ····· 147
Fig.39. Improvement effect by day passage PAC 180mg/ℓ. ····· 147
Fig.40. Floc before co-precipitation. ····· 148
Fig.41. Floc after co-precipitation. ····· 148
Fig.42. Sinking tank before co-precipitation. ····· 149
Fig.43. Sinking tank after co-precipitation. ····· 149
Fig.44. Water quality deterioration by hour. ····· 150
Fig.45. Olivine filtering media. ····· 152
Fig.46. Olivine filter. ····· 152
Fig.47. Filtering efficiency of olivine. ····· 156
Fig.48. Sludge bulking. ····· 160
Fig.49. Bulking improvement. ····· 163
Fig.50. Improvement of sludge sedimentation. ····· 164

Collection @ chosun

Fig.51. Concentration of water quality deterioration. ·····167
Fig.52. Decomposition rate changes. ·····167
Fig.53. Concentration changes of MLSS. ·····169
Fig.54. Total MLSS amount and seeding living thing amount. ··169
Fig.55. Bubble of living thing fatigue. ·····170
Fig.56. Deterioration of released water quality. ·····171
Fig.57. Final sinking tank. ·····171
Fig.58. Treatment rate by process. ·····175
Fig.59. Post-treatment efficiency. ·····176

Collection @ chosun

Abstract

A Study on the Optimization Process of Ice-cream Sugar Wastewater Treatment

By Seol Dong - Hwa
Advisor: Prof. Choi Hyung - il
Department of Environmental Biological Engineering
Graduate School of Chosun University

Sugar waste water is soluble and is discharged as high concentrate. And in the process of producing ice cream much dairy cream and chocolate is used and the use of detergents such as chlorine germicide and liquid soap increase to get rid of general bacteria. For this reason, in the primary chemical disposal of sugar waste water, much sludge condensed by chemical agents is produced but on the other hand, fusible organisms are not removed enough. In the main process of sugar waste water disposal, activated sludge system is applied and its planned BOD removal rate is up to 90~95%, which is hard to comply with the effluent standard of the final waste water.

The undisposed fusible sugar waste water acts as an overloading factor and makes the activated sludge tank produce viscous bulking at all times. Its long-term stay and the components of influent detergent makes the dismantling of floc

Collection @ chosun

proceed and residual dairy cream causes actinomycete to increase and filamentous fungal bulking to create. The purpose of sludge disposal lies in preserving the self-cleansing of river system by minimizing the effluence of waste water as well as observing the effluent standard of waste water through complete removal of influent contaminants.

To achieve the goal of sugar waste water disposal, biodegradability of activated sludge microorganisms should reach at the level of more than 98~99% but the phenomenon of deterioration of biodegradability repeats caused by rapid change of loads and difference in concentration of substrate. Activated sludge microorganisms has the property that its biodegradability deteriorates in the optimal greenhouse condition to proliferate, instead.

Compared with this, the organisms survived in such an environment as the impacts have been loaded repeatedly at any time create strong resistance. As this resistance is succeeded the genetic information of biodegradability individually among generations, the biodegradability of sugar waste water greatly increases.

Therefore, the application of operating technique to intensify the degradability is needed for an effective effluent sludge disposal.

dCollection @ chosun

제1장 서 론

제1절 연구배경

지구온난화로 인해 전 지구적으로 기온이 상승하는 추세와 기호식품의 서구화로 아이스크림시장은 빠르게 성장하고 있으며, 제과업계에서는 향후 매년 4~5%의 매출신장이 이루어 질 것으로 예상하고 있다.

아이스크림시장에서 가장 큰 규모인 Bar 시장은 3,810억 원으로 전년보다 1.3% 신장하였고, 컵 시장은 1,240억 원으로 5% 이상 신장하였다. 홈 타입 아이스크림은 950억 원의 매출로 6.7% 신장하였으며, 콘류 시장은 1,780억 원으로 전년대비 8.5% 매출이 신장한 것으로 나타났다. 그러나 튜브제품(펜슬)은 1,840억 원의 매출을 기록하여 매출총액이 전년대비 2.6%감소한 결과를 보였다.[1)]

이에 따라, 아이스크림의 제조 시 난분해성 고농도 당 폐수가 다량으로 발생하고 있는데, 성· 비수기별 조업일 중 부하변동의 폭이 매우 크고, 유지방과 초코 성분이 증가함에 따라 폐수처리수질이 순간적으로 급속히 악화되는 특성이 있다. 또한, 당 폐수처리 시 과부하에 의한 수질악화와 슬러지 Bulking이 수시로 발생하여 안정적인 폐수처리가 곤란하며, 이로 인해 환경기술인들은 난분해성 폐수처리에 대한 과중한 심리적 압박감을 받게 된다.

당 폐수처리방법에는 일반적으로 활성슬러지공법인 장기폭기 공정이 적용되고 있는데, 장기폭기조의 설계는 국립환경연구원에서 제시한 아이스크림폐수의 원단위 농도 값을 적용하고 있으며, 환경부 등에서 제시한 용적부하, F/M비, MLSS농도, DO농도, HRT, BOD:N:P 값 등을 운전기준으로 채택하는데 설계상의 효율과 실제 운전결과와의 차이가 크게 발생하고 있다.

장기폭기조의 설계, 시공 및 운전기준으로 제시된 값은 활성슬러지공법 운전기술이 발전되지 않은 공법 개발초기의 운전 상태를 표준기술화하여 권장하고 있는 것으로써 최상의 오염물질 제거효율을 요구하는 시대적 추세에는 부적합한 처리기술이다. 그러므로 폐수처리시설 규모의 최소화와 운전비용 절감, 유기물분해율의 최적화가 가능하고 저탄소 녹색성장을 선도 할 수 있는 처리기술의 연구가 필요하다.

Collection @ chosun

현재까지 폐수처리공학자들은 다양한 방법으로 당 폐수처리기술을 연구하였으나 산업체 폐수처리현장에 적용이 가능한 유효한 처리기술은 제시되지 않고 있다. 그것은 대부분의 연구가 인공폐수나 저농도 오수, 하수 또는 저농도 당 폐수를 대상으로 현장을 떠난 실험실적 연구과정을 거친 결과로써 당 폐수의 기질이 복잡하고 부하변동이 극심한 현실적 특성이 반영되지 않았기 때문이다.

제2절 연구목적

폐수처리시설은 설계시공 분야와 운전기술 분야로 나누어지는데 환경담당자의 최종적인 역할은 폐수처리시설관리의 최적화로 오염물질의 배출을 저감하는데 있다. 이러한 목적의 실현을 위해서는 오감기능의 감각적 개발과 핑거처리가 중요하다.

첫째, 업무개시 즉시 폐수처리공정을 순회하여 폭기 소리, 취기, 폭기조 색상 등의 변화를 인지하는 오감진단을 해야 한다.

둘째, 각 공정의 시료를 채수하여 공정별 처리효율과 DO농도, MLSS농도를 직접 분석하고 슬러지 Floc 상태, 침전성, 미생물상태, SS 여과율 등을 파악한 후 오감인지 결과와 종합하여 당일 폐수처리 효율뿐 아니라 일주일 후의 수질변화 추세까지 예측할 수 있는 수질관리능력 개발이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 난분해성 당 폐수처리 현장에서의 각 공정별 처리효율을 면밀하게 조사하고 공정별 처리효율을 극대화 할 수 있는 진보된 현장 처리기술을 연구함으로써, 제시된 생물학적 폐수처리이론의 실제적 현상의 검증과, 환경부의 수질원격감시시스템(Tele-metering System)에 효과적으로 대응 할 수 있는 안정적 당 폐수처리기술 연구를 통해 전국의 캔디 및 아이스크림제조공장 등 고농도 당 폐수를 처리하는 모든 시설에서 공통적으로 적용이 가능하고 BOD, COD, SS, N-H, T-N, T-P 등 오염물질의 처리효율 값을 최상으로 실현 할 수 있으며, 새로운 설계 목표치 제안이 가능한 당 폐수처리 최적화 기술로써 현장의 실제 데이터를 제시하고, 이러한 연구과정을 통하여 고농도 난분해성 당 폐수의 호기적 처리기술에 대한 연구를 완결하고자 한다.

Collection @ chosun

제2장 이론적 고찰

제1절 아이스크림의 출현과 시장 동향[1,2)]

고대 중국에서는 눈이나 얼음을 꿀과 과일 주스에 혼합하여 먹었다고 전해지며, 공자시대에는 설빙고를 만들어서 겨울철에 채취한 얼음을 여름철까지 보관 하였다. 동방을 여행했던 마르코 폴로가 중국을 다녀와서 1292년도에 쓴 동방견문록에는 마르코 폴로가 중국을 여행했을 당시에 북경에서 유행하던 "프로즌 밀크"의 배합비법을 베니스로 가져다가 북부 이탈리아 지방에 전파하였다는 기록이 있다.

서양에서는 BC 4세기경 알렉산더 대왕이 이집트원정을 갔을 때 더위에 지친 병사들을 위하여 겨울철에 알프스 산에서 채취하여 보관하였던 눈으로 찬 과일과 찬 주스를 만들어서 제공하였다는 일화가 있다.

우리나라에서도 삼국시대부터 석빙고를 만들어서 한강에서 채취한 얼음을 여름까지 보관하였다가 궁궐과 사대부들의 여름철 음식조리에 사용하였다는 기록이 있다.[1)]

Table 1과 같이 아이스크림의 기원은 중국이 유력한 것으로 보이나 현대적 의미의 아이스크림은 마르코 폴로가 중국에서 유럽으로 제조방법을 전파한 이후 미국을 중심으로 다양한 제품이 개발되면서 전 세계로 확산되어 갔음을 알 수 있다.

우리나라에서는 20세기 초반 서양 선교사들이 들어온 이후 빙과제품이 만들어지기 시작했으나 상업적 거래행위는 1950년대부터 시작된 것으로 알려져 있다. 1960년 까지는 팥 앙금을 얼린 빙과류인 아이스케이크가 유통되었고, 1962년에는 삼강산업이 Bar라인을 도입하여 "하드"를 대량 생산하기 시작하였다.

현대적 개념의 아이스크림은 1970년 해태제과가 Hoyer사로부터 콘 제조시설을 도입하여 생산한 "부라보 콘"이 최초의 제품이 되고 있다.[2)]

1977년에는 롯데제과가 아이스크림 생산 사업에 참여함으로써 국내 아이스크림 시장은 급속하게 성장하기 시작하였다.

dCollection @ chosun

Table 1. Chronological table of ice cream production

Year	Production history
1292	마르코폴로의 “동방견문록” 프로즌밀크 배합비법소개
1760	The Compleat Confectioner" 에 ” 라스베리 아이스크림 제조법 “ 언급
1800	미국의 Pennsylvania 와 Germantown에 “아이스크림 소매업” 등장
1846	미국의 Nancy Johnston이 최초의 hand-cracked ice cream freezer발명
1851	미국의 볼티모어에 Jacob Fussel이 최초의 아이스크림 공장 설립
1855	Australia에서 최초의 상업적 아이스크림기계 제조
1902	Brine freezer 개발
1904	미국에서 최초의 Ice-cream waffle cone 개발
1919	미국에서 Ice-cream Bar 제품개발 “Chocolate-coated bar"
1920	미국에서 Ice stick Bar 제품 개발
1960	Korea, 팥 앙금으로 만든 빙과류 생산
1962	Korea, 삼강산업 “Bar" 라인 도입
1970	Korea, 해태제과 “서구식 Ice-cream 부라보 콘” 생산
1977	Korea, 롯데제과 Ice-cream 사업진출

2008년 식품유통연감의 의하면 2007년도 국내 아이스크림시장의 규모는 9,620억 원으로 2007년 대비 2.8% 신장하였다.

아이스크림시장에서 가장 큰 규모인 Bar시장은 3,810억 원으로 전년보다 1.3% 신장하였고, 컵 시장은 1,240억 원으로 5% 이상 신장하였다.

홈 타입 아이스크림은 950억 원의 매출로 6.7% 신장하였으며, 콘류 시장은 1,780억 원으로 전년대비 8.5% 매출이 신장한 것으로 나타났다. 그러나 튜브 제품(펜슬)은 1,840억 원의 매출을 기록하여 매출총액이 전년대비 2.6%감소한 결과를 보였다.

아이스크림의 판매실적은 날씨와 직접 연관되므로 지구온난화로 인해 전 지구적으로 기온이 상승하는 추세에 따라 제과업계는 향후 매년 4~5%의 매출 신장이 이루어 질 것으로 예상하고 있다.

dCollection @ chosun

기온상승별 아이스크림 매출량 변화를 보면 여름철 최고기온이 25℃를 넘을 때 아이스크림 매출량이 증가하는데, 기온이 1℃ 상승할 때마다 매출량은 15%씩 증가하는 것으로 보고되어 있다.

여름철의 대기온도가 섭씨 25~35℃ 사이에서는 기온이 증가할수록 매출이 증가하나 최고기온이 30℃를 초과하면 오히려 매출이 감소하는 추세이다. 이것은 기온이 30℃를 초과하면 아이스크림보다 수분이 많고 감각적으로 시원함이 우세한 빙수와 샤베트성 제품에 대한 선호도가 증가하기 때문이다.

여름철 성수기 제품인 맥주는 대기온도가 1℃ 상승 시 매출액은 4% 증가하였고, 탄산음료는 대기온도가 20℃를 넘을 때부터 매출이 늘어나서 대기온도 1℃ 상승 시 매출액이 8%씩 증가하는 것과 비교해 볼 때, 대기온도 1℃ 상승 대비 매출액 증가량은 아이스크림이 현저히 높은 하절기 초기의 선호 식품임을 알 수가 있다.

dCollection @ chosun

제2절 아이스크림의 제조공정[2,3)]

아이스크림은 Sugar, MSNF, 유화안정제, Fat, Salt, water등을 이용하여 생산을 한다. 제조과정으로는 원료를 물에 용해시킨 후 “배합 - 살균 - 균질 - 냉각 - 숙성 - 동결 - 경화”의 과정을 거쳐 제품을 생산하며, -40℃의 온도에서 급속 냉동시킨 후 -25℃에서 24시간 이상 저장하였다가 출하를 한다.

배합비

Table 2와 같이 아이스크림 원재료의 배합비는 통상적으로 Fat 12.5%, MSNF 10.0%, Sugar 16.0% 이고 아이스크림의 고형분 구성비로는 Fat 31.3%, MSNF 25.1%, Sugar 40.1%, 유화안정제 3.5%의 배합비를 보이고 있다.

Table 2. Ratio of ice cream combination

Fat(%)	MSNF	Suger	Emulsifier	Salt	Water
12.5	10.0	16.0	0.5	0.9	60.1

아이스크림의 물리적 구조

아이스크림의 물리적 구조는 Liquid, Air, Solid등의 3상으로 구분이 된다. Air는 10~150㎛ 크기의 미세한 공기기포로써 총 고형분량의 250~300% 또는 총 배합액량의 60~100%를 혼입시켰을 때, 아이스크림의 조직형성과 부드러운 맛이 최적의 상태가 된다.

액상에는 설탕이나 소금이 용해되어 있고 유단백과 난단백은 콜로이드상으로 분산되어 Sol상태를 유지한다. 유지방과 식물성지방은 물에 분산되어 gel 상태로 존재하게 된다.

1. 아이스크림의 분류

우리나라의 식품위생법상 아이스크림은 아이스크림류와 빙과류, 아이스크림 분말류로 분류되어 있으나 실제 유통되는 제품의 형태는 아이스크림류와 빙과류가 대부분이다.

dCollection @ chosun

아이스크림류는 배합성분에 따라서 아이스크림과 아이스밀크, 샤베트, 비유지방아이스크림으로 구분된다. 빙과류는 식품이나 식품첨가물을 배합한 후 살균 처리하여 동결시킨 제품으로써 기온이 높은 하절기 제품이며, 넓은 의미에서 아이스크림류에 해당된다.

아이스크림의 출시형태는 스틱 바 제품과, 튜브충진 제품, 콘류, 샌드류, 홈류(Bulk 용기충진 제품), 멀티제품으로 분류되며, 아이스크림은 오버런을 30~50%로 반 경화시킨 소프트 아이스크림과 오버런을 100% 정도로 경화시킨 하드 아이스크림으로 구분하는데 대부분의 아이스크림은 하드 아이스크림에 해당된다.

생산된 아이스크림은 -40℃로 급속 경화하여 -25℃의 저장창고에서 24시간 이상 저장한 후 출하가 된다. 시중 유통시의 최적온도는 -18℃가 유지되어야 제품고유의 품질이 유지되는 조건으로 권고 되고 있다.

2. 아이스크림의 살균처리[3)]

식품위생법에는 아이스크림 중 세균수를 100,000/ml이하로 대장균은 10/ml 이하로 규정하고 있다.[3)] 아이스크림 원재료 고유의 영양소와 성상은 파괴하지 않고 인체에 유해한 미생물만 살균처리가 필요하다. 이러한 목적을 당성하기 위해서 살균방식으로 열처리공정을 주로 도입하고 있다.

아이스크림의 원료는 물에 용해시킬 때 65℃에서 30분간 가열하여 배합을 하게 된다. 배합 후에 배합에 사용된 유지방이 재분리가 되지 않아야하므로 배합액 중의 지방구의 크기는 2㎛ 이하가 되도록 분쇄해야 하는데, 이를 위해서 유단백과 유화제를 첨가하고 75℃로 가온처리하면 배합액은 안정된 현탁상인 균질화가 이루어진다.

(1) 배합액의 살균

균질화가 이루어진 배합액에 잔존하는 박테리아와 대장균등의 병원균을 제거하기 위해 배합액은 85~88℃ 조건에서 15초간 고온살균처리를 거침으로써 유해한 미생물의 살균처리가 이루어져서 출하하는 제품의 품질기준을 준수할 수 있게 된다.

Collection @ chosun

(2) 제조라인의 살균

아이스크림의 배합, 성형, 충진 용기와 배합액 이송배관 및 펌프류 내부에는 유지방이 잔류하고 미생물이 증식하여 제품에 세균오염을 유발함에 따라 고온살균과 화학적 살균처리를 거치게 된다.

제조라인 내부에 잔류한 유지방을 제거하기 위해서는 2%의 NaOH 용액을 65℃로 하여 순환시키며 미생물의 증식억제 및 살균처리를 위해서 차아염소산 150~200ppm 용액을 주입하고 최종적으로 수세수를 주입함으로써 살균처리와 수세를 완료하게 된다.

3. 아이스크림 맛의 비결[2)]

아이스크림의 특성은 부드러움에 있는데 얼음 입자가 40㎛이하인 경우에는 입안에서 얼음입자가 느껴지지 않을 정도로 부드러운 맛을 유지하게 된다.

아이스크림의 부드러운 맛을 유지하는 두 번째 요건은 배합액에 혼입시키는 Air cell의 크기가 10~150㎛ 일 때 입안에서 사르르 녹는 부드러움이 잘 유지되고 차가운 맛을 완화시키는 작용을 하게 된다.[2)]

배합액에 60~100% 범위에서 공기를 혼입시키는 오버런이 낮으면 아이스크림의 맛은 끈기가 있고 묵직한 맛이 나며 오버런이 높으면 퍼석거리고 가벼운 맛이 증가하게 된다.

Bar제품은 PE 포장용기의 기밀성이 낮으므로 30% 정도의 오버런을 하게 되며 컵 제품은 포장용기의 기밀성 유지가 양호하므로 60~100%의 오버런을 하게 됨에 따라 Bar 제품보다 부드러운 고급제품을 생산할 수가 있다.

아이스크림의 깊은 맛은 유지방 함량에 의해 결정되는데 유지방은 아이스크림의 적당한 점성과 매끄러운 조직과 적당한 단단함을 갖게 하며 깊고 순한 풍미와 미세한 조직을 형성케 함으로써 아이스크림 고유의 촉감을 나타나게 한다.

4. 아이스크림생산 현황

00공장의 2008년도의 아이스크림 생산현황을 파악하기 위해 원· 부재료 사용량과 제품생산량, 폐기물배출량, 폐수배출량, 화학물질사용량 등을 조사하

dCollection @ chosun

였다.

조사대상 업체인 00공장은 캔디류와 아이스크림을 전문적으로 생산하는 공장으로써 매출액 기준으로 2008년도에 총 1447.1억 원의 제품을 생산하였다

Table 3과 같이 2008년도 비스켙류 매출액은 278.4억 원으로 19.2%이고, 캔디류 매출액은 197.9억 원으로 13.7%이다. 아이스크림류 매출액은 970.8억 원으로 67.1%의 매출 구성비를 보이고 있다.

Table 3. Component ratio of sales in 2008

Products / Sales amount (hundred million)	biscuits	candies	ice-cream
1447.1	278.4	197.9	970.8

Table 4와 같이 2008년도 아이스크림 매출액으로 Bar류가 631.8억 원으로 65.1%이고, 컵류가 110.6억 원으로 11.4%이며, 콘류가 228.4억 원으로 23.5%의 매출구성비를 보이고 있다.

Table 4. Component ratio of ice cream sales

Products / Sales amount (hundred million)	Bar	cup	cone
970.8	631.8	110.6	228.4

(1) 원·부재료 사용 및 제품 생산량

Table 5와 같이 00공장은 비스켙 라인 2라인과 캔디라인 4라인, 아이스크림라인 6라인이 폐수배출시설로 설치가동 중에 있으며, 2008년도의 캔디류 생산중량은 1904.5t 으로 전체의 10.4%이고, 비스켙류의 생산중량은 2585.5t 으로 14.1% 이며, 아이스크림류의 생산중량은 13822.9t 으로 72.5%를 생산하였다. 년 간 제품생산총량은 18312.9t 이다.

dCollection @ chosun

Table 5. Total production of products

Products / Weight(ton)	Biscuits	Candies	Ice-cream
18312.9	2585.5	1904.5	13822.9

Table 6과 같이 18312.9t의 제품을 생산하기 위한 원재료로 사용한 설탕류는 5702.0t 으로 전체 원재료의 49.6%로 가장 많이 사용되었다.

설탕외의 원재료로

우유류는 2164.3t 으로 18.8%, 곡물 가공류는 1409.7t 으로 12.3%

쵸코렛류는 1059.4t 으로 9.3%, 유지방류는 617.0t 으로 5.4%

콘 과자류는 313.2t 으로 2.7%, 첨가물류는 174.6t 으로 1.5%

향료류는 37.7t 으로 0.3%

천연색소류는 16.4t 으로 0.1% 이며, 총 11494.3t의 원재료가 사용되었다.

제품을 생산하기 위한 배출시설을 가동하기 위한 부재료로 공업용수는 상수도가 166,400㎥/년과, 전기 12,638,000kw/년, LNG가스 1,528,827㎥/년 가 사용되었다.

Table 6. Amount of primary, secondary materials

Classification / Kinds	Amount used (ton)	Share (%)
Sugars	5,702	49.6
Cones	313.2	2.7
Milks	2164.3	18.8
Chocolate	1059.4	9.3
Grains, Fruits	1409.7	12.3
Palm oil, Hardened oil	617.0	5.4
Natural additives	174.6	1.5
Natural pigments	16.4	0.1
Flavor agents	37.7	0.3
Total	11494.3	100.0
Water (㎥)	166,400	
Electricity (kw)	12,638,000	
LNG (㎥)	1,528,827	

Collection @ chosun

제3절 아이스크림 공장의 환경배출물질[4~13)]

1. 수계 폐수배출

2008년도 조업일은 259일이며, 공업용수사용량은 166,400t/년, 폐수배출량은 111,055t/년으로 폐수발생률은 66.7%로 조사되었다.

Table 7과 같이 수계등급 "가" 지역인 광주광역시는 하수처리집수구역에 해당되므로 "나" 지역의 배출허용기준을 적용받는다. 오염물질 측정항목은 pH, BOD, COD, SS, N-H, T-N, T-P등 7개 항목이며 배출허용기준은 수질 및 수질생태계 보전에 관한 법률 제 32조와 시행규칙 34조의 별표 13에 근거한다.

폐수배출시설은 캔디동과 아이스크림 생산동으로 구획 설치되어 있고 배출폐수는 건축 동별 배수구를 통하여 배출이 되나 폐수처리시설 유입관로에서 혼합되는 경로를 거치게 된다.

캔디류 폐수와 아이스크림류 폐수는 평소에는 배출원별로 분리 측정이 곤란하나 제품의 출하특성상 캔디제품은 동절기 성수제품으로써 하절기에 2주간의 정비 휴무기간이 주어지고, 하절기 성수제품인 아이스크림류는 동절기에 2~3주간의 정비 휴무기간이 주어짐에 따라 제품별 폐수발생유량과 농도 등의 특성파악이 가능하다.

Table 7. Effluent standard of waste water

Concentration / Items	Area	Standard concentration	Remarks
pH	Na	5.8 ~ 8.6	
BOD		120	
COD		130	
SS		120	
N-H		30	
T-N		60	
T-P		8	

dCollection @ chosun

2. 폐수 발생 성상

Table 8과 같이 폐수배출시설 설치신고 시 OO공장에서 제시한 캔디동에서 발생하는 폐수의 유량은 평균 161.8t/일 이며, 농도는 pH 범위가 3.5~6.0, BOD 농도는 1153mg/ℓ, COD 농도는 839mg/ℓ, SS 농도는 1065mg/ℓ이었다.

아이스크림동에서 발생하는 폐수의 유량은 평균 337.1t/일이며, 농도는 pH 범위가 3.5~6.0, BOD는 1600mg/ℓ, COD는 2222mg/ℓ, SS는 600mg/ℓ, N-H은 50mg/ℓ이고 정수시설 등에서 발생하는 폐수의 유량은 21.2t/일인데, 폐수처리시설설계 시 적용하는 오염부하량은 아이스크림동에서 배출하는 원폐수 성상을 기준으로 하였다.

2008년도에 배출된 혼합폐수의 발생량은 조업일 기준으로 429t/일이며, 원폐수의 평균농도는 pH 5.2, BOD 4712.0mg/ℓ, COD 3479.0mg/ℓ, SS 1554.0mg/ℓ, N-H 62.80mg/ℓ, T-N 64.37mg/ℓ, T-P 11.27mg/ℓ이다. BOD 농도를 기준으로 할 때 설계농도에 비해 실제 배출농도는 2.95배가 높게 나타나고 있다.

Table 8. State of the primary effluent by each processing

Classification / Items	Candy wastewater	Ice-cream wastewater	Industrial water treatment facilities	Target concentration (mg/ℓ)	Input concentration (mg/ℓ)
pH	3.5 ~ 6.0	3.5 ~ 6.0	6 ~ 7	3.5 ~ 6.0	5.2
BOD	1153	1600	5	1600	4712
COD	839	2222	5	2222	3479
SS	1065	600	5	600	1554
N-H	-	50	-	50	62.80
T-N	-	-	-	-	64.37
T-P	-	-	-	-	11.27
Amouent of wastewater output(ton)	161.8	337.1	21.2	520.1	429.0

Table 9와 같이 생산라인별 실제 폐수발생량은 캔디동이 평균 80t/일로 전체폐수의 18.6%이고, 아이스크림동이 345t/일로 80.5%이며, 기타 정수공정 등에서 4t/일을 배출하여 0.9%를 점유하는 구성비를 보이고 있다.

dCollection @ chosun

원폐수의 발생농도는 캔디동 폐수의 BOD농도가 7324.7mg/ℓ이고, 아이스크림동 폐수의 BOD 농도는 4157.8mg/ℓ이다.

폐수처리장에 유입하는 BOD총량은 523.291t/년 인데 캔디동에서 배출하는 BOD는 151.768t/년으로 29 %이며, 아이스크림동은 371.523t/년으로 71%를 점유하고 있다. 생산원재료도 설탕, 물엿 등 당류가 공통으로 사용되고 있고, 아이스크림동에서 발생하는 폐수부하량이 71.0%이므로 아이스크림동 발생폐수의 성상을 당 폐수의 대표적 특성으로 이해하였다.

Table 9. State of waste water and report of installing disposal system

Process	Wastewater output (ton/day)	BOD concentration (mg/ℓ)	Total BOD (ton/year)	Share (%)
Candy factory	80	7324.7	151.768	29.0
Ice-cream factory	345	4157.8	371.523	71.0
Water treatment facility	4	-	-	
Total	429	4712	523.291	100.0

Table 6과 같이 제품생산에 사용하는 원재료를 보면 당류, 곡물류, 과일류, 유지방류가 70.0%로 1차 화학적 처리나 2차 생물학적 처리에 적합한 원폐수의 성상을 갖추고 있음에 따라 캔디동 폐수와 아이스크림동 발생폐수를 분리하지 않고 병합처리를 하고 있다.

3. 유기물질 배출량

Table 10과 같이 00공장에서는 2008년도에 유기물로써 BOD 물질이 523.291t/년 유입 된 후 총 99.90%가 제거되어 0.50t/년이 수계로 배출되었으며, 이때 방류수 BOD의 평균농도는 4.5mg/ℓ이다. 하천수계에 부영양화를 일으키는 물질인 T-N은 7.149t/년이 유입된 후 93.04%가 제거되어 0.498t/년이 배출되었고, T-P는 1.252t/년이 유입된 후 98.72%가 제거되어 0.016t/년이 배출되었다. N-H은 6.974t/년이 유입된 후 98.95%가 제거되어 0.073t/년이 배출된 결과가 조사되었다. 최종 방류수의 BOD농도는 4.5mg/ℓ으로써 폐수배출허용기준인 120mg/ℓ의 4.0%이하 농도를 유지하였다.

dCollection @ chosun

Table 10. Status quo of waste water disposal

Class. / Items	Input processed amount		Treatment processed amount		Output processed amount		Treatment rate (%)
	Concent-ration (mg/ℓ)	Total (ton)	Concent-ration (mg/ℓ)	Total (ton)	Concent-ration (mg/ℓ)	Total (ton)	
pH	5.2				7.3		
BOD	4712	523.291	4707.5	522.791	4.5	0.50	99.90
COD	3479	386.360	3463.2	384.606	15.8	1.754	99.55
SS	1554	172.579	1542.7	171.325	11.3	1.255	99.27
N-H	62.80	6.974	62.14	6.901	0.66	0.073	98.95
T-N	64.37	7.149	59.89	6.651	4.48	0.498	93.04
T-P	11.27	1.252	11.126	1.236	0.144	0.016	98.72

3. 중금속 배출[4)]

(1) 수계 배출

Table 11과 같이 아이스크림의 제조에 사용되는 원재료에는 As, Pb, 기타 중금속의 잔류기준이 설정되어 있고, 원재료 제조사가 자체적으로 제시한 성분분석표에는 분석결과가 적합 또는 불검출로 기재된 것으로 볼 때, 원재료에서는 극미량의 중금속이 잔류하지만 인체에 대한 유해성은 전혀 없는 수준으로 판단된다.

원재료 성분에 따라서 As, Pb, 기타 중금속이 극미량 폐수로 유출되는 것으로 추정이 되며, Table 12와 같이 2005. 1 다산생명과학연구원의 분석결과에 따르면 공업용수로 사용하는 상수도에서는 As가 0.008mg/ℓ, Cu 0.014 mg/ℓ, Zn 0.003 mg/ℓ 잔류하고 있다. 또한 공장내부의 일부 용수 이송관로가 아연파이프 재질로 되어 있어서 부식에 의한 Fe과 Zn의 용출이 있을 것으로 보인다.

dCollection @ chosun

Table 11. Standard table of heavy metals contended in raw material

Class. \ Items		Sugar	Oligos sacha -ride	Starch syrup	Fruit sugar	Grape sugar	Starch	Flavor agents	Cream	Pig-ments	Natural addi-tives	Synthe -tic addi-tives
As (ppm) less than	0.3				○				○			
	1.3									○		
	1.5					○	○	○				
	4.0										○	○
Pb (ppm)	0.5	○			○	○						
	1.0		○	○						○		
Other heavy metals (ppm)	10	○		○	○	○	○	○	○			
	20										○	
	50											○

Table 12. Table of heavy metal analysis in industrial water

Class. \ Concentration	Pb	As	Hg	Cr^{+6}	Cd	Cu	Zn	Fe	Mn	Al
Standard (mg/ℓ)	0.05	0.05	0.001	0.05	0.005	1.0	1.0	0.3	0.3	0.2
Result	ND	0.008	ND	ND	ND	0.014	0.003	ND	ND	ND

폐수의 화학적처리 시 사용하는 PAC에는 Fe가 2.0% 이하, 납이 0.005% 이하로 허용기준이 설정되어 있다. 이러한 요인에 의해 최종방류수에는 Cu, Pb, Ni, Ba, Zn, Fe이 미량 잔류한다.

Table 13과 같이 방류수에는 특정수질유해물질인 중금속 잔류기준이 설정되어 있는데 폐수처리 후 배출되는 방류수는 차집관거로 배출되며, Cu 8.884 kg/년, Pb 2.221kg/년, Ba 3.332kg/년, Ni 2.221 kg/년, Zn 0.111kg/년, Fe 0.111kg/년 등 총 16.88kg/년이 배출된 후 하수종말처리장으로 유입처리 되고 있다.

dCollection @ chosun

Table 13. Effluent standard of the area 'Na'

Class.	Cu	Pb	Hg	Mn	Ba	Ni	Zn	Fe
Source waste water (mg/ℓ)	0.32	0.04	0.29	0.10	0.04	0.03	0.40	2.97
output water (mg/ℓ)	0.08	0.02	-	-	0.03	0.02	0.01	0.01
Standard concent-ration	3 less than	0.5 less than	0.005 less than	10 less than	-	-	5 less than	10 less than
Output(kg)	8.884	2.221	-	-	3.332	2.221	0.111	0.111

방류수에 잔류하는 중금속의 농도는 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률의 시행규칙 별표 13), 수질오염물질의 배출허용기준의 2. 항목별 배출허용기준, (2) 2008.1.1부터 적용되는 기준 이하로 배출되고 있으므로 폐수배출시설 설치허가 대상에 포함되지 않는다. 먹는 물 수질기준에서 먹는 물의 관리기준 및 각성분이 인체에 미치는 영향을 보면 AS는 허용기준이 0.05mg/ℓ이하이며, 만성중독에 의한 빈혈, 모발위축, 수족지각장애가 발생하고 급성중독 시는 구토나 설사를 유발하는 물질이다.

Cu의 허용기준은 1.0mg/ℓ이하이며 간장 장애를 일으키는 물질이고, Zn은 허용기준이 1.0mg/ℓ이하로써 급성중독에 의해 구토, 탈수, 근육조절불능, 전해질 불균형 등을 일으킨다.

Pb은 허용기준이 0.05mg/ℓ로써 만성중독에 의해서는 정신착란, 심근마비, 악성빈혈을 일으키고 급성중독에 의해서는 복통과 구토를 일으키는 물질이다.[4] 방류수에 잔류하여 수계로 배출되는 이러한 중금속류는 생태환경에 독성이 유발되지 않는 수준의 미량 배출이다.

Collection @ chosun

4. 폐기물배출[5)]

(1) 폐수슬러지에 의한 배출

2008. 폐수처리량은 111,055ton이고 폐수슬러지는 1,300ton이 발생하였다.

폐수처리 후 발생하는 생물학적처리조의 잉여슬러지와 원폐수의 화학적처리시 발생하는 Scum은 Y사의 벨트프레스로 탈수하였고 슬러지케익의 함수율은 Table 26과 같이 평균 81.91% 이다.

Table 14와 같이 2008. 광주광역시보건환경연구원에서 분석한 결과에 의하면 슬러지케익 중에 잔류하는 중금속은 Pb이 0.3809kg/년, Cu가 0.0416kg/년, Hg이 0.0012 kg/년, Cr^{+6}은 0.0023kg/년, Cd은 0.0364kg/년이 배출되고 있으나, 중금속별 함유농도는 지정폐기물 분류기준이하로 배출됨에 따라서 일반사업장 폐기물로 분류된다.

Table 14. Table of ingredients analysis in the sludge

Items / Classification		Pb	Cu	As	Hg	Cr^{+6}	CN	Cd	O-P	PCE	TCE	N-H	
												Minerals	Animals-plants
Designated standard for waste materials (mg/ℓ)		3.0	3.0	1.5	0.005	1.5	1.0	0.3	1.0	0.1	0.3		
Concent-ration (mg/ℓ)	98	0.505	ND	ND	0.0018	0.035	ND	0.049	ND	ND	ND		
	08	0.040	0.063	ND	ND	ND	ND	0.007	ND	ND	ND	1,800	13,000 15,600
	average	0.293	0.032	-	0.0009	0.0018	-	0.028	-	-	-	1,800	14,300
Output (kg)		0.3809	0.0416	-	0.0012	0.0023	-	0.0364	-	-	-	2,340	18,590

화학적처리 시 분리되는 Scum 중에는 광물성 N-H가 3,436mg/ℓ, 동식물성 N-H가 5,739mg/ℓ 잔류하므로 Scum의 단독 탈수시는 응집이 방해되어 정상적 탈수가 곤란하다. 그러므로 스컴과 잉여슬러지를 1:2로 혼합탈수가 필요하며 혼합액 중의 고형분은 20,000~25,000mg/ℓ 이다.

dCollection @ chosun

광물성 N-H은 슬러지케익 중에 1800mg/kg이 잔류하므로 총 2,340kg이 배출되었고, 동식물성 N-H은 14,300mg/kg이 잔류하여 총 18,590kg이 배출되어 슬러지케익 부패 등에 의한 악취발생요인이 되고 있다.

광물성 N-H 배출이 증가할 경우에 슬러지케익을 지렁이 먹이로 제공시 지렁이 생체증식에 제한을 받을 수 있다.

Table 15와 같이 1998.10 전라남도농촌진흥원의 분석결과에 의하면 슬러지 중의 A, B 평균 유기물점유율은 12.07%, T-N은 평균 3.88%로 나타나고 있으나, Table 26에 따르면 2008년도에 배출된 잉여 슬러지케익의 VSS는 15.94%로 분석되어 있어서 생물증식을 위한 영양성분이 풍부하므로 지렁이사육용 먹이로의 제공에 적합하다.

Table 15. Table of microorganisms analysis in the sludge

Test items	A(%)		B(%)	
	Organic matter	T-N	Organic matter	T-N
Analysis concentration	13.52	3.96	10.61	3.80

(2) 냉매에 의한 배출

아이스크림의 성형과 포장에는 -38℃이하의 급속냉동시설이 필요하고 Soft Candy의 포장시도 급속경화를 위한 냉매가 이용된다. 아이스크림을 냉동하기 위한 냉매로 1차 냉매로는 액화된 NH_3가스가 이용되며 2차 냉매로는 비중 32로 용해시킨 $CaCl_2$ 용액이 이용된다.

Bar제품에 초코를 코팅할 경우에는 3차 냉매인 액화 질소를 이용하고 있고 Soft Candy를 성형한 후 일매 포장을 하기 위해서 액화 질소를 캔디 반제품에 직접 분사하여 경화시킨 다음 포장을 하게 된다. 액화된 N_2 가스는 제품의 급속경화에도 이용되지만 캔디와 홈런 볼을 봉지 단위로 포장할 경우 유통과정에서 벌레등의 서식과 제품의 변질을 방지하고 부드러운 비스켈 제품이 파손되지 않도록 충격 시 완충기능을 부여하는 목적으로 질소가스를 주입하여 밀봉 출하하는 공정에도 이용이 된다.

Collection @ chosun

① $CaCl_2$의 유출

아이스크림의 경화탱크에는 2차 냉매인 $CaCl_2$ 용액이 충진 되어 있고 $CaCl_2$가 충진 된 경화탱크 내부에는 NH_3 가스가 순환되도록 순환파이프가 설치되어 있다. NH_3 가스는 순환 시 흡열반응을 하므로 $CaCl_2$ 수용액은 -42 ~ -43℃를 유지하게 된다. 아이스크림 배합액을 충진한 성형몰드는 원형의 경화탱크 상부에서 10~14rpm으로 회전하는데 경화탱크 내부에서는 -42℃의 $CaCl_2$ 용액을 상부에서 회전하고 있는 성형몰드 외피에 노즐로 분사함으로써 충진액의 급속경화를 유도하고 있다. 이 과정에서 성형몰드 외피에 분사된 $CaCl_2$ 용액의 일부가 성형몰드 세척시 유출되므로 93.04t/년이 폐수로 유입이 된다.

Table 16과 같이 MSDS 따르면 $CaCl_2$에는 미량의 Pb, As, Fe이 잔류하고 있다. 폐수처리장에 유입된 $CaCl_2$는 응집, 침전, 생물흡착 등에 의해 제거가 되어 floc 형성에 기여하나 생물학적처리조의 염분농도를 증가시켜 생물성장에 영향을 주기도 한다.

Table 16. Concentration of heavy metals in $CaCl_2$

$CaCl_2$ output (ton)	Heavy metal concentration (mg/ℓ)		
	Pb	As	Fe
93.04	0.25	0.15	0.002

Fig. 1. Impeller scale.

dCollection @ chosun

$CaCl_2$ 생물독성농도로 권장되는 범위는 설정되어 있지 않으나 최대 2,885mg/ℓ, 평균 838mg/ℓ로 유입이 되고 있으며, 일부의 칼슘염은 Fig. 1과 같이 폐수이송관로나 이송펌프에 스케일 생성을 증가시킨다. 폐수로 유입되는 $CaCl_2$중의 중금속 함유량은 활성슬러지에 흡착되어 잉여슬러지로 유출되므로 슬러지에 의한 유출량으로 환산한다.

(3) 폐 전구에 의한 배출[5)]

Table 17과 같이 2008년도 공장의 사무동 등 일반 조명용으로 사용 후 배출되는 폐 형광등류는 840개/년 이었다.

Table 17. Output of heavy metals from light bulbs waste

Kinds of bulbs \ Items		Output (EA)	Weight(g)		Hg Amount (mg/each)	Hg Total output(g)
			Each	Total		
Fluorescent lamp	20W	80	114	9,120	20 ~ 25	20.0
	32W	200	128	2,560		
	36W	140	148	20,720		
	40W	380	250	9,500		
3-wavelength lamp (20W)		40	105	4,200	6 ~ 8	0.32
Metal lamp (250W)		130	165	21,450	255	33.15
Natrium lamp (250W)		10	165	1,650	25	0.25
Tungsten lamp	160W	25	72	1,800	5 ~ 30	1.35
	250W	20	170	3,400		
Total		1,025		74,400		55.07

생산현장은 산업안전보건법상의 규제조도인 150Lux를 충족키 위해 고효율 조명램프인 메탈램프 등이 185개/년 사용된 후 폐기물로 배출되었는데 산업

Collection @ chosun

안전보건협회에서 측정한 공장동의 조도는 280~400Lux 범위로 측정되어 작업환경 조도유지에 적합하였다.

폐 전구류는 총 1,025개/년 배출되었으며 배출중량은 74.40kg이다. 2008. 환경부에서 제시한 값에 의하면 Hg의 배출량은 상한 값으로 55.07g/년이고 발생한 폐 전구류는 조명재활용협회에 전량 위탁하여 처리하고 있다.[5)]

(4) 폐유에 의한 배출

① 액상폐유에 의한 배출

아이스크림 생산 시 사용한 펌프, 감속기, 컨베어 등에는 기어오일, 그리스 등이 윤활제로 사용이 되고 아이스크림을 냉동 경화시키는 냉동설비 가동에 다량의 냉동오일이 윤활제로 사용된다. 아이스크림과 캔디제조용 감속기, 펌프 등의 윤활제로는 기어오일과 그리스가 이용된다. 폐수처리시설의 가동에도 기어오일과 그리스를 사용하며, 사용 후 배출된 중량으로는 3.44t, 부피로는 3.99kℓ의 액상폐유가 발생하였다. 폐수처리시설의 유지관리를 위한 기어오일 소모량은 30ℓ/년, 그리스 소모량은 10ℓ/년이다.

Table 18. Output of heavy metals from waste oil

Classification / Test items	Measured concentration (mg/ℓ)	Output of waste oil (kℓ)	Total output (g)	Quality standard (less than mg/ℓ)
Chrome & its compounds	less than 1.0	3.99	3.990	1.0
Lead & its compounds	0.5		1.995	1.0
Cadmium & its compounds	1.0		3.990	1.0
Arsenic & its compounds	1.0		3.990	1.0
Total			13.965	

Table 18과 같이 2007. 영산강유역환경청의 측정값에 따르면 폐유 중에는 Cr과 Pb, Cd, As 등의 중금속이 잔류하며, Cr은 3.99g, Pb은 1.995g, Cd는 3.99g, As 3.99g으로 년 간 13.965g 이하의 중금속이 폐유에 함유되어 배출

Collection @ chosun

되었고, 순수한 폐유의 성분은 87%이므로 전량 지정폐기물로 분류되며, 배출 후 석유 대체연료로 정제되고 있다.

② 고상폐유 및 폐페인트에 의한 배출

기계의 정비 시는 고상폐유가 1.84t/년 발생하고 공장건물의 내·외부와 기계류의 관리개선을 위하여 자체정비계획에 의거 주기적으로 유성페인트 도색을 하는 과정에서 페인트 붓, 로라, 희석용기, 잔여페인트 등이 폐페인트로 0.49t/년이 배출된다.

폐페인트는 경화된 상태로 배출이 되며 지정폐기물 처리업소로 이송된 다음 고상폐유 등 다른 지정폐기물과 혼합하여 고온소각 처리되므로 별도로 중금속의 배출농도 측정은 곤란하나 고온소각로에서 발생하는 소각재 중의 중금속농도를 분석함으로써 간접 측정하는 방법을 적용하였다.

Table 19와 같이 2006. 화학시험연구원의 측정값에 따르면 고상폐유와 폐페인트를 다른 지정폐기물과 혼합하여 고온소각 처리하는 소각로에서 발생하는 연소재에 Cu가 0.032mg/kg, As가 0.009mg/kg의 농도로 잔류하고 있다.

Table 19. Components of solid waste oil, waste paint and combustibles

Test item / Concentration	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr	CN
mg/kg	ND	0.032	0.009	ND	ND	ND	ND

연소 후 잔류물은 2.27~6.24%가 발생하며 상한 값인 6.24%를 기준으로 할 때 연소재는 0.145ton이 발생하므로 중금속배출량은 Cu가 0.0046g/년, As가 0.0013g/년이 간접 배출되고 있다.

소각 시 대기로 배출되는 가스의 량은 17046.28S㎥이며, Table 20과 같이 배출되는 오염물질은 SOx, NOx, CO, 먼지, HCl 등이 측정대상 항목에 해당되고 총 배출 오염물질량은 1226.522kg 이다.

Collection @ chosun

Table 20. Components of solid waste oil, waste paint and exhaust gas

Test items	Limits allowed	Concentration measured	Gas output (Sm³)	Output (kg/year)
SOx(ppm)	30	2.83	17046.28	48.241
NOx(ppm)	80	58.48		996.866
CO(ppm)	50	3.76		64.094
dust(mg/Sm³)	30	2.52		0.043
HCl(ppm)	30	6.88		117.278
Total				1226.522

(5) 음식물 쓰레기에 의한 배출[6)]

일평균 350명을 급식하는 사내식당에서는 한식조리를 주로하고 있으며 조리 후 배출되는 음식물쓰레기는 2.98t/년이 발생하여 가축사료용으로 공급되고 있다.

Table 21. Output of heavy metals from waste food

Classification / Test items	Concentration measured (mg/kg)	Food output (ton/year)	Heavy metal total output (g/year)
Nacl (%)	3.44	2.98	102,512
Fe (mg/kg)	250.75		747.24
Zn	27.12		80.82
Pb	0.33		0.98
Cu	6.88		20.50
Cr	6.19		18.45
Cd	0.32		0.95
Ni	1.47		1.44
Total		2.98	870.38

Collection @ chosun

00공장에서 발생하는 음식물쓰레기중의 중금속 잔류량은 직접분석이 곤란하므로 Table 21과 같이 2003.농업과학연구원에서 조사한 한식조리음식물폐기물의 성분분석농도를 기준으로 하여 중금속배출량을 산출한 결과,[6)]

Fe가 747.24g/년, Zn이 80.82g/년, Pb가 0.98g/년, Cu가 20.5g/년, Cr이 18.45g/년, Cd이 0.95g/년, Ni이 1.44g/년으로 년 간 870.38g이 배출되었다.

음식물쓰레기의 재활용을 곤란하게 하는 염분은 102.512kg/년이 배출되었다.

(6) 가연성폐기물에 의한 배출[7)]

① 배출가스에 의한 배출

아이스크림류를 생산하기 위한 원재료의 포장용기는 종이포장재와 PE등 합성수지포장재가 이용되는데 발생하는 폐기물중 순수한 종이와 PE류는 재활용으로 수거된다.

2종 이상의 성분이 혼합된 가연성폐기물은 168.03t/년이 발생하여 일반소각처리를 한다. 소각업체에서 가연성폐기물을 소각처리 시 발생하는 분진 등 소각재와 배출가스중의 중금속성분은 측정대행업체에서 분석한 자료를 기준으로 배출량을 산정하였다. 소각 후 발생하는 연소재는 평균 10~20%로 조사되었으나 15%를 연소재 발생량으로 적용하였다.

사업장 발생 가연성 폐기물의 소각 시 발생하는 연소가스량은 “2006. 김기헌외 2인의 폐기물소각시설의 공정운전 및 대기오염물질배출특성 연구”에서 제시한 배출업체의 가연성폐기물을 소각 시 발생하는 배출가스량 7316Sm^3/ton을 적용하였을 때 연소가스 배출 총량은 1229307.48Sm^3/년이었다.[7)]

Table 22와 같이 2007. 정우엔텍의 측정값에 따르면 가연성폐기물의 소각 시 중금속의 대기배출량은 Cr 및 그 화합물이 177.020g/년, Cu 및 그 화합물이 238.486g/년, Ni 및 그 화합물이 264.301g/년, Zn 및 그 화합물이 317.161g/년으로 총 997.968g이 간접배출 되었다.

Collection @ chosun

Table 22. Concentration of components from exhaust gas

Test items	Limits allowed	Concentration measured	Gas output (Sm^3)	Output (kg/year)
SOx(ppm)	30	4.61	1229307.48	5667.107
NOx(ppm)	80	11.32		13915.760
CO(ppm)	50	3.18		3909.198
Dust (mg/Sm³)	30	6.87		8.445
NH_3(ppm)	100	6.85		8420.756
CS_2(ppm)	30	ND		-
HCL(ppm)	30	3.39		4167.352
HCN(ppm)	10	0.71		872.808
H_2S(ppm)	2	0.472		580.233
Cl_2(ppm)	10	0.436		535.978
F compounds(ppm)	2	0.46		565.481
Cd compounds (mg/Sm³)	0.02	ND		-
Pb compounds (mg/Sm³)	0.2	ND		-
Cr compounds (mg/Sm³)	0.5	0.144		0.177
Cu compounds (mg/Sm³)	10	0.194		0.238
Ni compounds (mg/Sm³)	20	0.215		0.264
Br compounds (ppm)	5	0.303		372.480
Benzene compounds (ppm)	30	0.47		577.775
phenol compounds (ppm)	10	0.328		403.213
HCHO(ppm)	10	0.08		98.345
Hg compounds (mg/Sm³)	0.1	ND		-
As compounds (ppm)	0.5	ND		-
Zn compounds (mg/Sm³)	10	0.258		0.317
Total			1229307.48	40095.927

② 연소재, 비산재에 의한 배출

사업장 가연성폐기물의 연소재는 소각폐기물 톤당 10~20%가 발생하는 것으로 제시되어 있으나 발생률을 15%로 적용하면 25.205t/년의 연소재가 발생하였고, 먼지배출농도 6.87mg/Sm^3을 적용하면 비산재는 8.445t/년 발생하였다.

Collection @ chosun

Table 23. Concentration of components in combustible

Classification / Test items		Designated standard for waste materals (mg/ℓ)	Concentration measured (mg/ℓ)	Amount of burn ash (ton)	Output (g/year)
Pb & its compounds	burn ash	3.0	0.725	25.205	18.274
	fly ash		2.355	8.445	19.888
Cu & its compounds	burn ash	3.0	0.012		0.302
	fly ash		0.062		0.524
Cd & its compounds	burn ash	0.3	0.011		0.277
	fly ash		0.050		0.422
Cr^{+6} & its compounds	burn ash	1.5	0.002		0.050
	fly ash		0.089		0.752
total				33.650	40.489

Table 23과 같이 2005. 광주시 보건환경연구원의 측정값에 따르면 소각 후 발생한 연소재에는 Pb, Cu, Cd, Cr^{+6} 이 잔류하고 있으며, 잔류배출량은 Pb 및 그 화합물이 38.162g/년, Cu 및 그 화합물이 0.826g/년, Cd 및 그 화합물이 0.699g/년, Cr^{+6} 및 그 화합물이 0.802g/년으로 총 40.489g/년이 간접 배출되었다.

(7) 공정오니에 의한 배출

아이스크림 제조과정에서 배출하는 공정오니는 콘 과자, 샌드 과자가 해당이 되나 중량비로 전체 발생량의 3% 미만에 불과하고 주 발생 공정오니는 비스킷 불량품이다. 비스켙류 성형불량에 의한 공정오니는 31.6t/년 발생하였으며, 전체공정오니의 97%를 점유함에 따라 비스킷 불량품에 포함된 중금속 성분농도를 기준으로 배출량을 산정하였다.

Collection @ chosun

Table 24. Concentration of components in biscuit

Test items / Concentration	Pb & its compounds	Cu & its compounds	Cd & its compounds	Cr^{+6} & its compounds	CN& its compounds	Hg & its compounds	As & its compounds
Designated standard for waste materials (mg/ℓ)	3.0	3.0	0.3	1.5	1.0	0.005	1.5
Concentration measured (mg/ℓ)	ND	0.024	ND	ND	ND	ND	ND

Table 24와 같이 2003. 광주시 보건환경연구원의 측정값에 따르면 비스킷 불량품에는 중금속성분으로 Cu가 검출되고 있으며 검출농도는 0.024mg/ℓ이고 비스킷 비중을 1.0으로 볼 때 총배출량은 0.7584kg/년 이다.

Table 25. Amount of waste from working place

Classification	Sourse	Output	Process	Remark
Waste water sludge	Wastewater treatment	1300.0	Earthworm breeding	General waste
Combustible waste	Production activities	168.03	General incineration	
Waste synthetic resin	Product packaging	26.2	RPF	
Process sludge	Production activities	31.6	Animal feed Production	
Construction waste	Factory upkeep	170.5	Landfill	
Waste wood	materials	12.0	Recycling	
Scrap metal	Factory upkeep	31.5	Recycling	
Waste paper	Packaging of raw materials	290.0	Recycling	
Food garbage	Employee feeding	2.98	Livestock feed	
Total		2032.81		
Liquid waste oil	Freezing facilities	3.44	Refining	Desig-nation waste
Solid waste oil	Factory upkeep	1.84	High-temp incineration	
Waste paint	Factory upkeep	0.49	High-temp incineration	
Total		5.77		
Grand total		2038.58		

Collection @ chosun

(8) 잉여슬러지배출

Table 25와 같이 2008년도 사업장폐기물은 2038.58t/년이 배출되었다. 배출된 폐기물의 구성비를 보면 일반사업장폐기물이 2032.81ton로 전체의 99.7%를 점유하였고, 지정폐기물은 5.77t로 0.3%를 점유하고 있다. 사업장폐기물의 처리형태별로 구분하면 재활용폐기물이 1697.72t로 83.3%, 매립폐기물이 170.5t로 8.4%, 일반소각 폐기물이 168.03t로 8.2%, 고온소각 폐기물이 2.33t로 0.1%의 구성비를 보이고 있다.

Table 26. Rate of water content in sludge cake

Month	Sludge cake (ton)	Water amount (%)	VSS (%)	Organic matter (ton)
1	93.06	86.61	90.70	11.30
2	92.18	85.17	88.99	12.17
3	66.79	80.12	91.10	12.10
4	97.0	79.56	89.91	17.81
5	174.23	79.01	92.49	33.82
6	172.9	82.20	86.71	26.68
7	182.97	81.70	85.76	28.73
8	128.45	80.62	84.70	21.08
9	99.14	81.02	86.44	16.27
10	72.29	84.70	91.44	10.00
11	72.04	80.83	84.15	11.62
12	48.95	81.43	86.27	7.84
total	1300.0	81.91	88.13	207.2

전체적으로 배출된 폐기물의 재활용 율은 높은 편이나 일반소각용 폐기물의 주된 성분구조가 폐비닐과 폐지로 되어 있어 분리수거가 개선될 경우에는 자원의 회수율이 5~10% 정도 증가할 여지가 있다. 배출된 사업장폐기물중 특별히 관리를 강화해야하는 지정폐기물은 폐유와 폐 페인트가 해당된다.

2008년도에 BOD 물질 523.291ton을 물리, 화학, 생물학적 공정에 의해 처리한 후 방류하는 과정에서 발생된 약품응집 슬러지와 잉여 활성슬러지는 평균 함수율 81.91%로 1300.0t/년이 배출되었다.

Collection @ chosun

Table 26과 같이 배출된 슬러지케익 중 유기물농도는 15.94%로 총 207.2t 이고 Table 15와 같이 T-N농도는 3.88%이므로 8.04t이 배출되었다.

(9) 악취배출

폐수처리시설로 유입되는 원폐수는 지하에 설치된 180㎥ 용량의 원폐수 집수조에 저류되고 있고 1차 화학적처리 후 발생되는 약품응집 슬러지는 27㎥ 용량의 스컴 저장조에 이송이 된다.

1차 화학적처리가 완료된 후의 상등수는 450㎥ 용량의 1차 처리수 유량조정조로 이송되는데 각 집수조에는 송기용 산기관이 설치되어 있어서 공기공급에 의한 혼합과 균질화가 이루어진 뒤 후속공정으로 이송 처리되고 있다. 외부에서 공급하는 송기량에 의해서는 저류중인 폐수의 부패나 유기산발효를 억제 할 수 없음에 따라서 악취가 발생하게 된다. 활성슬러지조 내부에서 발생하는 취기는 정상적인 미생물이 증식될 경우에 전혀 문제가 없으나 원폐수 집수조나 1차 처리수 유량조정조 스컴저장조 등에서는 악취가 많이 발생하게 되는데 날씨가 흐리거나 기압이 낮을 때는 상당한 악취가 폐수처리장 주변으로 확산되므로 악취방지법 규제에 대비한 대책의 수립이 요구된다.

특히, 수온이 상승하는 하절기에 악취발생이 극심하고 풍향에 따라서 악취의 감지 정도차가 크게 변화하고 있다.

Table 27과 같이 2005. 그린전남환경종합센터의 측정값에 따르면 스컴탱크에서는 메틸메르캅탄 농도가 36.2ppb로 검출되어 악취규제기준을 9.5배 초과하였고 원폐수 집수조에서는 카르보닐 화합물인 아세트 알데이드가 157.3ppb 검출되어서 기준을 1.57배 초과하였다. iso-발레르 알데히드는 36ppb로써 6배 초과 발생하였다. 1차 처리수 유량조정조에서는 암모니아가 128ppb로 검출되었는데 폐수처리장에서 후각에 의해 감지되는 악취는 1차 처리수 유량조정조에서 확산되는 암모니아성 악취와 H_2S 등에 기인 한다.

폐수처리장 주변에 확산되는 NH_3 가스농도는 41ppb로써 산업안전보건법에 의한 작업장 노출기준인 18㎎/㎥에 적합하였다.

공장부지 경계선인 도로변에서 측정한 암모니아 농도는 41ppb, 황화메틸 4.1ppb, N부틸알데히드 5.7ppb, 스타이렌 2.27ppb로 미량 검출되어서 악취방

Collection @ chosun

지법상 규정한 기준농도는 안전하게 준수하고 있으나 폐수처리시설 관리자들에 대한 보건상의 악화가 우려되고 있는 수준이다.

Table 27. Concentration of measuring stinch

Test location	Sulfuric oxids (ppb)					Carbonyl compounds (ppb)					아민류	탄화수소류
	NH_3	H_2S	메틸메르캅탄	황화메틸	이황화메틸	아세트알데히드	프로피온알데히드	N부틸알데히드	N 발레르알데히드	ISO 발레르알데히드	트리메틸아민	스타이렌
원수 집수조	48	5.3	ND	ND	ND	157.3	38.9	6.1	ND	36.0	ND	3.47
1차 유량조	128	7.6	ND	ND	ND	41.9	26.9	19.4	ND	ND	ND	1.71
스컴 탱크	52	17.7	36.2	ND	5.6	37.6	10.0	14.1	ND	ND	ND	1.38
부지 경계선	41	ND	ND	4.1	ND	ND	ND	5.7	ND	ND	ND	2.27
기준 농도	2000 이하	60	4	50	30	100	100	100	20	6	20	800
판정	less than	less than	초과	less than	less than	초과	less than	less than	ND	초과	ND	less than

부지경계선에서 후각에 의한 악취는 자동차 매연 등과 혼합되므로 별도 악취로는 감지되지 않는 수준이다.

1차 처리수 유량조정조에서 발생하는 극심한 악취유발물질은 활성슬러지조에 투입된 후 생물탈취에 의해 대부분 제거되는 것으로 예측이 되므로 향후 폐수처리공정에서 발생하는 악취는 소각이나 탈취 탑을 경유하는 처리공정보다는 생물탈기공정을 적용하는 것이 투자비와 유지관리비, 탈취효율, 2차 오염물질 발생의 억제면 등에서 유효한 처리방법으로 판단된다.

Collection @ chosun

(10) 냉매배출

① NH_3 배출

아이스크림 급속경화탱크의 흡열배관에서 순환 중인 NH_3가스는 액상상태로 주입이 되는 순간 기화되므로 가스 상태로 순환된 후 경화탱크 외부로 유출이 된다. 유출된 NH_3 가스는 재사용을 위해 에어콤프에서 액화 응축과정을 거치게 되는데 유출된 NH_3 가스의 100%가 응축되지 않으므로 냉동효율을 떨어뜨리게 되고, 응축되지 않은 NH_3 가스는 에바콘에서 가스퍼저기를 경유하여 지상 15m 대기 중으로 방출하므로 악취로는 감지되지 않는다.

가스상 NH_3를 응축하는 에어콤프에서 압축 시 냉동오일에 혼입되어 유출되는 NH_3 가스는 냉동폐유를 재이용하기 위한 열분해 시 악취를 발생시키고 있고 냉동설비의 배관이나 밸브를 통해서도 미량 유출이 되고 있다. 냉동설비동의 실내공기 중 NH_3 가스의 오염도는 0.001~0.0318mg/㎥으로 측정되었으나 작업환경기준인 18mg/㎥ 이하의 수준이고 년 간 대기 중으로 배출되는 NH_3 가스량은 3.50ton 이다.

② N_2 배출

액화 질소가스는 아이스크림 Bar제품 표면에 초코를 코팅한 제품을 생산할 때 상부가 개방된 급속경화 탱크에 -192℃의 액화질소를 충진시킨 후 액화질소액에 Bar제품 성형몰드를 1.5초간 침지작업을 하는 공정과, Soft-candy의 성형시에 액화질소를 직접 분사하는 공정에 이용이 된 후 기화되어 전량 대기 중으로 방출이 된다. 제품의 품질관리상 아이스크림과 캔디동은 외부로부터 밀폐된 구조이며 작업장에 외부공기 유입이 제한되어 있다. 작업장에서 발생한 과잉의 질소가스는 충분한 환기 배출이 곤란한 구조임에 따라 작업장 중 실내 질소가스 증가에 의해 대기 중 산소부족 상태가 발생하여 작업자의 피로증가와 집중력 감소에 의한 건강장해 및 제품품질 불량률의 증가가 예상되므로 작업장의 산소농도 측정결과에 따른 환기개선이 필요하다.

Table 28과 같이 년 간 대기 중으로 배출되는 질소가스는 625.5t이며 아이스크림 생산 공정에서 85% 소프트캔디생산 공정에서 15%가 배출되고 있다.

Collection @ chosun

Table 28. Discharge of coolant

$CaCl_2$ (ton)	N_2 (ton)	NH_3 (ton)	Total(ton)
93.04	625.50	3.50	722.04

(11) 소음 · 진동배출[8)]

111,055t/년의 폐수를 물리화학, 생물학적으로 처리하기 위해서는 수중펌프, 감속기, Roots-Blower, 탈수기, 배관 관로 등이 이용되는데 폐수처리설비의 총 동력량은 317.75kw이다. 폐수처리설비 중 소음진동을 주로 발생하는 설비는 Roots-Blower와 탈수설비, 응집반응조의 감속기 등이다.

Table 29와 같이 폐수처리 전 공정에서 8시간과 4시간 간격으로 소음을 연속 측정한 결과에 의하면 브로아실의 소음도가 91~100dB(A)로 가장 높게 나타나 작업환경 기준을 초과하고 있는데 Blower 가동대수 별 발생소음도와는 미세한 차이가 나타나고 있다.

탈수기 가동소음은 83~88dB(A)로 높게 측정되고 있으며, 사무실과 실험실의 소음도도 54~66dB(A)로 측정된다. 도로부지 경계선에서는 65~71dB(A)로 측정되고 있는데, 이는 도로변 보도이용 주민들이 소음을 감지 할 수 있는 수준이나 버스 등 차량의 도로주행 시 소음이 68~74dB(A)로 측정되고 있어서 폐수처리공정의 환경소음 배출이 주민들에게 관심요인이 되지 않고 있다.[8)]

환경소음의 저감을 위해서는 Root`s-Blower 가동부하를 줄이는 방법과 방음시설의 보완이 우선 요구되는데, 이는 생물처리조 체류시간 단축공정의 도입을 통해 Blower 가동부하를 30~40% 저감함으로써 목표달성이 가능하다.

(12) 온실가스 배출[9,10,11)]

온실가스는 태양에서 지구로 유입하는 단파장의 복사에너지는 지표면에 접근케 하지만 지상으로부터 방출되는 장파장의 복사에너지인 적외선은 흡수하기 때문에 대기의 평균온도가 약 15℃를 유지하게 하는 역할을 한다.

Collection @ chosun

Table 29. Measurement of environmental noise

Test location / Test time	Lab dB(A)	Office	Release tank	Plant boundary	Blower room	Dehydration room
12:00	60~66	56~66	68~73	66~71	93~100	83~88
20:00	60~63	54~65	70~71	65~70	92~97	-
24:00	60~64	54~62	62~72	65~70	91~94	-
Test conditions					3 blower	
Average	62.2	59.5	69.3	67.8	94.5	81.5

그러나 산업화에 따른 경제성장으로 화석연료의 사용이 급증하고 이에 의한 온실가스의 급격한 배출은 지구온난화를 유발시키고 있다. 우리나라도 온난화의 영향으로 지난 100년간 1.5℃의 기온이 상승하여 지구평균 상승률의 2배를 초과하였고 제주지역의 해수면도 지난 40년간 22cm가 상승하여 지구평균 상승률의 3배를 초과할 정도로 기후변화가 가파르게 진행되고 있다.

2005년도 우리나라 온실가스 배출량은 591백만 톤/CO_2으로 전 세계배출량의 1.7%를 점유하며 온실가스 배출규모는 세계 10위이다. 국민 1인당 배출량은 12.24 CO_2/톤/인 이다. 온실 가스는 CO_2, CH_4, N_2O, HPFCs, PFCs, SF_6 등이 있는데, 온실가스 중 CO_2가 전체 온실가스의 약 88%를 점유하고 있다.[9)]

아이스크림 등을 생산하는 공정에서는 전기와 연료사용에 의해 온실가스인 CO_2가 배출되고 있으며, 폐수처리공정에서는 CO_2와 CH_4가 배출이 된다.

아이스크림 원재료의 배합, 살균, 성형, 포장, 경화, 출하 등의 제조를 위한 설비가동과 부대지원시설 운전 및 폐수 및 폐기물의 처리를 위한 동력으로써 Table 30과 같이 12,638,000kw/년의 전력이 사용되었고, 보일러 가동연료로는 1,528,827㎥의 LNG가 사용되었다.

전력사용량에 의한 CO_2는 5510168.0kg/년이 발생하였고, LNG 사용에 의한 CO_2는 973862.8kg/년이 발생하였다.

Collection @ chosun

Table 30과 같이 8월중 폐수의 생물학적처리 시 유기물의 CO_2 전환배출량은 식 ①과 같이 19125.87ton 으로 산정되었다.[10)]

식 ① TOC 996.1g/㎥ x 0.9984 x 0.5 = 497.25g.C/㎥ 발생

497.25g/㎥ x 1mol/kg.C x 22.4ℓ/1mol x 273+33/273 = 1036.35ℓ.CO_2

1036.35ℓ x 12070ton x 1.529 = 19125.87ton,CO_2 발생.

Table 30. Amount of CO_2 emission from secondary material

Items / Kinds	Amount used	Calculation quotient	CO_2 output (kg/year)	Remark
LNG (㎥)	1,528,827	0.637	973862.8	
electricity (kw)	12,638,000	0.436	5510168.0	
total			6484030.8	

Table 31과 같이 2002. 서경애의 하·폐수처리시설에서의 온실기체 배출량 평가 연구[11)]에 의하면 식품업종 폐수처리시설에서 발생되는 메탄배출계수는 4.292×10^{-5} kg.CH_4/kg.BOD 로 제시되었는데, 제시된 식품업종의 CH_4 전환계수를 적용할 경우 아이스크림 등의 당 폐수를 처리하는 폐수처리장에서 배출되는 CH_4는 224.60kg/년이다.

폐수처리공정의 온실가스발생을 감축하기 위해서는 생산라인의 수율개선에 의한 원폐수 유입부하를 저감함으로써 호기성처리시설 운전 동력절감과 호기성처리 공정에서의 CO_2 생성억제를 용이하게 함으로써 그 목적을 달성 할 수 있다.

(13) VOCs 배출

생산설비의 관리개선과 공장동 등의 유지보수를 위해서 비중 1.08~1.10인 유성페인트를 761ℓ/년 사용하였고, 유성페인트의 용제인 희석제는 418ℓ/년 사용하였다. 유성페인트 용제는 3가지 성분으로써 탈취등유가 30~39%, 크실렌이 1~10%, 에틸벤젠이 1~9%이며 전체의 32~58%가 휘발성 VOC이다.

Collection @ chosun

Table 31. Process of waste water disposal and the generation of green house gas.

① CO_2 generation 2008. 8.

Amount of processed wastewater(ton)	TOC (mg/ℓ)	Organic matter decomposition rate (%)	Water temperature (℃)	Amount of CO_2 generation (ton/8 month)
12,070	996.1	99.84	33	19125.87

② CH_4 generation 2008.

Total BOD input (ton)	CH4 output quotient	CH4 generation (kg/year)
523.291	4.292×10^{-5} kg.CH_4/kg.BOD	224.60

희석제는 주성분으로는 탈취등유가 71~80%, 크실렌이 14~23%, 에틸벤젠이 1~10%로써 유성페인트의 용제와 동일한 성분으로 구성되어 있다. 이러한 용제와 희석제는 페인트 도장작업 시와 도장이 완료된 후 건조과정에서 대부분 증발하여 대기오염을 유발한다.

Table 32와 같이 유성페인트 제조사인 KCC에서 제시한 MSDS에 따르면 유성페인트 사용에 의한 대기 중 VOCs 배출량은 608.36kg/년이다.

환경부는 도심지역의 오존오염을 줄이기 위해서는 NOx의 저감보다는 휘발성 유기화합물인 VOC 배출을 줄이는 것이 효과적인 것으로 분석하고 2007년도부터 강화된 VOC 함유기준을 규제에 적용하고 있다. 또한 2010년에는 도료에 포함된 현재의 VOC 함유기준 보다 30% 강화된 기준으로 규제 할 예정이다.

VOC와 NOx의 비율을 통한 오존생성환경을 보면 VOC/NOx가 6 이상 일 때는 NOx에 의해 오존이 생성되며, 5이하 일 때는 VOC에 의해 오존이 생성되므로 VOC의 배출규제에 대한 근거가 성립된다.

VOC는 사람의 호흡기를 자극하고 신경계 장애를 유발하며 37종의 VOC에 포함된 벤젠이나 톨루엔은 발암성이 있고 백혈병을 일으키는 원인물질이 되고 있다.

Collection @ chosun

유성페인트 도색과정에서 배출되는 VOC구성 성분 중 에틸벤젠은 규제대상인 37종의 VOC에 포함이 되며, 노출시 현기증, 두통, 졸음, 통증, 시야협착 등의 건강장애를 일으키는 특정 대기유해물질로써 오존전구물질임에 따라 공장동의 도색과 기계류의 도색과정에서 유성페인트의 사용을 감축하고 수성페인트의 대체 사용이 필요하다.

Table 32. Amount of VOCs emission

Items / Kinds	Amount used (ℓ/year)	Solvent gravity	Solvent percentage (%)	Output (kg/year)	Remark
oil paint	761	0.8	32~58	273.96	45%
thinner	418	0.8	100	334.40	
total	1179			608.36	

(14) 일반 오염물질 배출[7,12)]

대기 중에 배출하는 중금속류를 제외한 오염물질은 SOx, NOx등 12개 항목으로 배출이 되고 있다.

Table 33과 같이 일반사업장폐기물인 가연성폐기물 168.03t을 소각하는 공정에서 40094.931kg의 대기오염물질이 배출되었고 폐합성수지를 가공하여 생산한 RPF 26.2t의 연소과정에서는 120507.015kg의 대기오염물질이 배출되었으며, 고상폐유와 폐 페인트 2.33t을 소각하는 공정에서는 1226.522kg의 오염물질이 대기 중으로 배출되었다.

고상폐유와 폐 페인트 소각 시 배출가스량은 2006. 김기헌외 3명이 “폐기물소각시설의 공정운전 및 대기오염물질 평가특성에 관한 연구”[7)]에서 제시한 7316S㎥/t 값을 적용하여 오염물질량을 산정하였다.

Collection @ chosun

Table 33. Emission of air pollutants

Waste materials / Pollutants	Combustible waster materials	Burning of solid waste oil	Burning of RPF	Total
SOx(kg/year)	5667.107	48.241	7512.740	
NOx	13915.760	996.866	25006.930	
CO	3909.198	64.094	84539.147	
dust	8.445	0.043	116.606	
NH_3	8420.756	-		
HCℓ	4167.352	117.278	3331.592	
HCN	872.808			
H_2S	580.233			
Cl	535.978			
F compounds	565.481			
Phenol	403.213			
HCHO	98.345			
Benzene	577.775			
Bromine	372.480			
Total(kg/year)	40094.931	1226.522	120507.015	161828.468

① 폐합성수지 잔류 배출

아이스크림과 캔디류를 생산하는데 필요한 원, 부재료를 포장한 PE 필름류는 사업장폐기물로 전환 배출되며, 캔디류의 일매 포장이나 봉지포장재는 대부분 PE 필름이 이용이 된다.

아이스크림의 포장재는 PE 필름과 일부 PE 필름이 부착된 종이용기가 사용되고 있다. PE 필름 포장재는 대부분 제품이 출하되면 폐기물로 전환된 후 생활쓰레기 소각장에서 소각처리가 되고 있으나 일부는 제품포장단계에서 폐기물로 전환되는데 폐기물의 분리과정에서 오염되지 않는 순수 PE 폐 포장재

Collection @ chosun

는 26.2t/년이 발생한다. 분리된 PE 포장재는 이물질이 없는 상태이므로 7.5HP 압축기로 부피를 감량화 하여 배출하면 RPF로 재생된 후 농업용 하우스의 보온을 위한 열원공급을 위해 가동하는 소각로의 연료로 이용이 된다.

RPF 연료 생산과정은 "폐합성수지 투입 - 1차 파쇄 - 2차 파쇄 - 용융혼합 - 포장출하"를 거치게 되는데, 1, 2차 파쇄기는 150kw의 동력을 이용하여 직경 2~3㎝정도로 파쇄한 후 아돈 믹서에서 350kw 동력을 이용해 Mixing을 하면 160℃의 마찰열이 발생하고 용융혼합이 되어 0.5~1cm 크기의 구형 Pelletize 입자가 형성된다. 폐합성수지를 이용해 생산한 RPF의 공업분석 값을 보면 휘발분이 86.69%, 고정탄소 5.34%, 수분 0.94%, 회분 7.03%로써 완전연소가 용이한 조건을 구비하고 있다. RPF연료는 유동상 소각로에 사용이 적합하며 노통연관식 온수보일러를 이용하여 폐열을 회수할 때 발열량은 6000~7000 Kcal/kg이다. RPF 연료 사용시의 총 연소열량은,
26200kg× 6740 kcal/kg = 176,588,000kcal 이고, 90℃의 온수와 200℃의 온풍을 생산 할 수가 있다.

Table 34와 같이 2005. 한국에너지연구원의 측정한 값에 따르면, RPF연료의 화학적 조성은 C 62.6%, H 9.47%, N 0.18%, O 17.15%, S 0.1%, Cl 1.5%, 수분 5.5%, 회분 3.4%의 비율을 보이고 있다.

Table 34. Chemical composition of RPF

Items / Component	C	H	N	O	S	Cl	moisture	ash	total
(%)	62.6	9.47	0.18	17.15	0.1	1.5	5.5	3.4	100

Table 35, 36과 같이 RPF 제조사인 동명산업이 제시한 값에 따르면[12] 이러한 원소분석 값에 근거하여 산출한 RPF 연소시 발생하는 이론 연소가스량은 333,159.2 Nm^3이고 연소가스에 의해 대기중으로 배출되는 오염물질은 분진 116.606 kg, CO 84,539.147kg, NOx 25,006.930kg, SOx 7,512.740kg, HCl 3331.592kg 으로써 년 간 120,507.015kg 이 배출 될 것으로 예상이 된다.

dCollection @ chosun

연소재나 분진의 발생에 의한 중금속류의 배출 값은 분석대상시료 채취 분석이나 확정된 측정값을 따로 구해야 한다.

Table 35. Amount of burned gas of RPF

Classification / Items	Burning gas (Nm³/kg)	Total gas generation (Nm³)	Share (%)
CO_2	1.17	333159.2 (12716Nm³ × 26.2ton = 333159.2Nm³)	12.04
N_2	9.48		73.18
O_2	0.945		3.24
H_2O	1.12		11.53
SO_2	0.0007		0.01
Total	12.716	333159.2	100

Table 36. Pollutants emitted from RPF

Classification / Items	Theoretical output	Output (kg)	Remark
Dust	350 mg/Nm³	116.606	
CO	253.75mg/ℓ	84539.147	
SOx	22.55mg/ℓ	7512.740	
NOx	75.06mg/ℓ	25006.930	
HCl	10.0mg/ℓ	3331.592	
Soot	less than 2		
Total		120507.015	

dCollection @ chosun

(15) 포장폐기물 배출

아이스크림과 캔디류 등은 원재료가 배합된 후 품질 규격별로 성형한 다음 PE 필름이나, PE 필름코팅 종이용기, PE 상자, PE 컵, 은박코팅 종이용기 등에 낱개로 1차 포장이 이루어진다. 1차 포장단계를 일매 포장으로 정의하며 일매 포장이 완료된 제품은 공장제품 출하규격에 따라 2차 봉지포장을 한다. 최종적으로 봉지 포장된 제품은 종이박스 규격별로 3차 포장을 완료한 후 출하가 된다.

이러한 제품은 도·소매점에 출하된 이후 3차 포장재인 종이박스는 분리되어 폐기물로 발생하나 대부분 재활용 목적으로 회수가 되므로 오염원으로 전환되지 않는다.

그러나 소비자에게 판매된 봉지 및 일매 제품은 대부분 PE 필름, PE 필름코팅 종이용기, PE 상자, PE 컵, 은박코팅 종이용기 재질로 포장되어 있어서 재활용 자체가 어렵고 소비자들이 개별적으로 일매 포장용기를 분리수거하기가 곤란함에 따라 대부분 생활쓰레기와 혼입 배출되어 소각장에서 소각처리하고 있다.

Table 37, 38과 같이 분리 수거되어 재활용되는 폐지는 1986.006t/년으로 전체 포장폐기물의 59.5%이다. 분리수거가 곤란하여 소각 처리되는 포장용기는 폐합성수지류와 목재류, 은박 등으로써 1351.004t/년으로 40.5%이다.

목재류 폐기물은 천연목재 Bar와 합성목재 Bar가 발생하는데 아이스크림 Bar 제품제조에 이용된 후 폐기물로 전환이 된다.

Table 37. Discharge of packing materials

Items / Products	Foods production		Packing material waste	
	Production amount (ton/year)	Composition (%)	Output (ton/year)	Composition (%)
Candy (ton)	4490.0	24.5	72.25	2.17
Ice-cream (ton)	13822.9	75.5	3264.76	97.83
Total	18312.9	100	3337.01	100

Collection @ chosun

Table 38. Composition of waste packing materials

Kinds \ Items	Output (ton/year)			Composition (%)
	Candy	Ice-cream	Total	
Waste paper	44.196	1941.81	1986.006	59.5
Waste PE	27.07	1141.57	1168.64	35.0
Waste wood	-	181.38	181.38	5.4
Al-paper	0.984	-	0.984	0.1
Total	72.25	3264.76	3337.01	100

(16) 화학물질 배출[13)]

환경부에서 도입한 유해화학물질 배출량조사 제도는 기업이 대기, 수질, 토양, 폐기물 등에 의해 배출하고 있는 유해화학물질 중에서 발암성이 있고 중금속 등이 포함되었으며, 취급량이 1톤/년 이상인 I-그룹 16종과, 취급량이 10톤/년 이상인 II-그룹 372종으로 합계 388종을 조사대상으로 하고 있다.

이러한 제도의 시행은 유해화학물질관리법 제17조 제 2항, 시행규칙 제12조 제1항 내지 제3항에 근거하고, 환경부고시 제2008-1호(08.1.10) 화학물질의 배출량조사 및 산정계수에 관한 규정에 세부사항을 명시하고 있다.[13)]

아이스크림 등을 생산하는 공정에서는 식품첨가제를 소량의 화학물질로 사용하고 있고, 제품 생산공정에서 손실된 일부 화학물질은 폐수처리공정으로 유입되므로 별도의 환경배출은 없다.

Table 39와 같이 폐수처리약품과 급속경화용 냉매로 사용하는 화학물질은 12종이며, 사용량은 839.917t/년이다. 유해화학물질 배출량 조사대상에 포함된 화학물질은 NaOH, H_2SO_4, NH_3 등 3종이나 H_2SO_4와 NH_3는 사용량 조사대상 기준에 미달한다.

dCollection @ chosun

Table 39. Amount of chemicals used

Items / Kinds	Usage	Amounts used (ton/year)	Test item or not (o,-)	Output to environment (ton/year)	Remark
PAC	Wastewater treatment	20.325	-	o	
NaOH	Wastewater treatment	34.515	o	o	
HC-611	Wastewater treatment	8.887	-	o	
H_2SO_4	Wastewater treatment	1.150	o	o	
$Fecl_3$	Wastewater treatment	3.670	-	o	
Urea	Wastewater treatment	11.99	-	o	
H_3Po_4	Wastewater treatment	3.66	-	o	
NaOClO	Pasteurization	28.88	-	o	
Liquid soap	Washing	4.80	-	o	
$CaCl_2$	Freezing coolant	93.04	-	o	
NH_3	Freezing coolant	3.50	o	3.50	
N_2	Freezing coolant	625.5	-	625.5	
Total		839.917		629.0	

NaOH는 조사대상 사용량에 해당이 되고 있으나 NaOH와 H_2SO_4는 폐수처리공정에서 중화제로 이용됨으로써 약품고유의 성상으로는 배출되지 않기 때문에 환경부 고시 제2008-1호에 의한 배출량으로 산정되지는 않는다.

실제 대기 중으로 방출되는 화학물질인 NH_3는 조사대상 기준에는 미달하나 3.50t/년이 배출되고 있다.

Collection @ chosun

제4절 아이스크림 당 폐수발생 및 처리

1. 당 폐수 발생주기

당 폐수를 배출하는 제품별 성수기가 캔디류는 동절기이고 아이스크림은 하절기이다. 캔디의 소비는 지속적으로 감소하는 추세임에 따라 캔디동 발생 폐수부하는 핵심 요소로 고려되지 않는다.

아이스크림의 소비는 지구온난화와 경제 발전에 의한 소득수준향상 및 주 소비층인 청소년들의 식품기호가 서구화함에 따라 매출이 꾸준히 증가하는 추세이다 통상적으로 아이스크림 성수기는 3~9월까지이며, 4~8월이 최대 생산시기이므로 하절기에 최대 과부하가 발생하여서 정상적인 수질관리에 어려움을 주고 있다.

2. 당 폐수의 발생원

아이스크림과 캔디류의 주 제조 원료는 설탕, 고과당, 물엿 등으로 당류가 전체원료의 49.6%를 점유하고 있다.

제품의 생산을 위한 원료의 배합, 충진, 성형, 생산라인의 세척과 살균과정과 불량성형품의 폐기과정에서 다량의 고농도 당 폐수가 발생하고 있다.

Table 9와 같이 캔디동과 아이스크림동에서 발생하는 오염부하인 BOD량은 캔디동에서 151.768t/년, 아이스크림동에서 371.523t/년 발생하며, 각기 29.0% 와 71.0%의 점유율을 보인다. 캔디동에서 발생하는 당 폐수는 설탕, 물엿 등을 고온으로 용해한 후 믹서를 통한 반죽을 하여 수분을 제거하는 관계로 배출하는 폐수중의 당 분자가 조밀한 구조를 갖게 되며, 생물분해를 위한 탄수화물과 지방성분이 거의 없이 미량의 첨가물과 향료만 첨가된 관계로 유기산발효나 호기성 생물분해가 어려운 난분해성 폐수이다.

아이스크림동에서 발생하는 당 폐수에는 설탕, 우유, 초코, 과일퓨레, 유지방과 유지방의 분리방지를 위한 유화제, 향료, 색소, 식품첨가물 등이 첨가되어 있으며 생산라인 세척시 90℃의 온수와 NaOH를 사용함에 따라 폐수처리시설로 유입된 이후 원폐수 집수조와 1차 처리수 유량조정조, 스컴조, 유수분리조 등에서 유기산 발효의 진행이 빠르고 부유성고형물이 많은 관계로

Collection @ chosun

화학적 응집처리 후 부상분리효율이 양호하다. 또한 생물분해조에서 미생물에 의한 분해시도 당 분자 구조가 이완되어 있음으로 분해가 빠르게 진행되는 장점이 있다. 그러므로 캔디동 폐수와 아이스크림동 발생폐수를 별도로 분리 처리하지 않고 혼합처리 할 경우 전체적으로 물리·화학적 처리율과 생물학적 처리율의 안정성이 증가하게 된다.

3. 당 폐수처리의 문제점[14,15,16)]

(1) 배출 원단위 값 오류[14,15)]

Table 40과 같이 1999. 국립환경연구원의, "폐수배출시설 표준원단위연구"에 의하면 코코아제품 및 설탕과자 제조시설의 폐수배출농도는 BOD 1153mg/ℓ, COD 839mg/ℓ, SS 1065mg/ℓ, T-N 24mg/ℓ, T-P 8mg/ℓ로 제시하고 있으며 아이스크림 및 식용빙과류 제조시설의 BOD농도는 1809mg/ℓ, COD 1415mg/ℓ, SS 821mg/ℓ, T-N 21mg/ℓ, T-P 11mg/ℓ로 제시하고 있다[14)].

Table 40. Unit of discharging sugar waste water

Items \ Standard	1	2	Target concentration	Real concentration in output
pH	7.3	-	3.5~6	5~6
BOD	1153	1809	1600	4712
COD	839	1415	2222	3479
SS	1065	821	600	1554
N-H	-	-	50	62.80
T-N	24	21	-	64.37
T-P	8	11	-	11.27
Volume load	-	-	-	0.55

※ 기준값 1. 1999. 국립환경연구원 폐수배출시설 표준원단위 연구
"코코아제품 및 설탕과자 제조시설"
기준값 2. 1999. 국립환경연구원 폐수배출시설 표준원단위 연구
"아이스크림 및 식용빙과류제조시설"

Collection @ chosun

그러나 Table 9와 같이 2008. 당 폐수의 실제 배출농도를 보면 코코아제품 및 설탕과자 제조시설에 해당되는 캔디동 발생 원폐수의 BOD 농도는 7324.7 mg/ℓ로써 제시된 원단위 농도의 6.4배에 달하는 고농도로 배출하고 있다. 아이스크림동의 발생 원폐수 BOD 농도는 4157.8mg/ℓ로써 제시된 원단위 값을 2.3배를 초과하는 고농도폐수가 발생하고 있다. 실제로 호남권 4개 아이스크림 제조사에서 배출하고 있는 원폐수의 BOD 농도 값은 3000~5000mg/ℓ로 높게 조사되었다. 장기폭기조 설계기준 값으로 적용하는 BOD 용적부하는 0.1~0.4 kg.BOD/㎥.day로 제시되어 있다.[15)]

이러한 원단위 값과 설계용적부하 값은 수질오염방지시설 시공업체나 폐수배출업체에서 폐수처리시설을 설계하는데 기초자료로 이용하고 있으나, 제시된 배출원단위 농도와 실제 배출농도의 차이가 큼에 따라 최적 폐수처리시설의 설계시공에 오류가 발생하게 된다. 결과적으로 시공후 처리시설용량의 과·부족이라는 문제가 돌출하게 되는 것이다.

중소규모 OEM 방식의 아이스크림 제조업체의 경우 제시된 원단위 값을 적용하였을 경우 폐수처리시설 용량 부족문제로 정상적 폐수처리가 곤란한 사례가 자주 나타난다.

이러한 문제로 인해 재정적 여유의 폭이 적은 중소업체가 폐수처리시설에 대한 연속투자를 하게 됨으로써 과다한 환경비용부담 증가에 의한 재정수지 악화와 투자 후에도 불안정한 폐수처리문제가 반복되는 어려움을 겪게 된다.

80년대 초반의 배출업체들은 세척수를 충분하게 사용하는 관습이 있어서 배출된 원폐수 농도가 희석되는 효과가 있었고, 폐수배출업체 조사표 제출시 원폐수 농도나 폐수배출량을 부정확하게 제시한 값이 폐수배출시설원단위 산정에 적용된 관계가 원단위 값의 오류를 발생시키는 인자로 작용한 것으로 추정 된다.

2000년대 이후 기업의 철저한 원가절감과 환경오염관리 노력으로 폐수배출 성상이 현저히 개선되고 있는 추세이므로 향후 매 10년 단위로 폐수배출원단위의 재조사를 통하여 현실과 근접한 원단위 값의 제시가 요구된다.

또한 발전된 활성슬러지 운전기술능력을 평가하여서 과도한 폐수처리시설이 시공되지 않도록 적정한 BOD 용적부하 값을 제시하여야 한다.

Collection @ chosun

(2) 급격한 부하변동

Table 41. Fig.2와 같이 당 폐수는 월별 발생 오염부하량이 최대인 5월의 BOD는 78.580t 발생하였고, 최저인 10월은 21.876t이 발생하여 3.59배의 급격한 차이를 보임에 따라 아이스크림 당 폐수를 처리하는 폐수처리장에서는 년중 안정적인 폐수처리가 이루어지지 않고 있다.

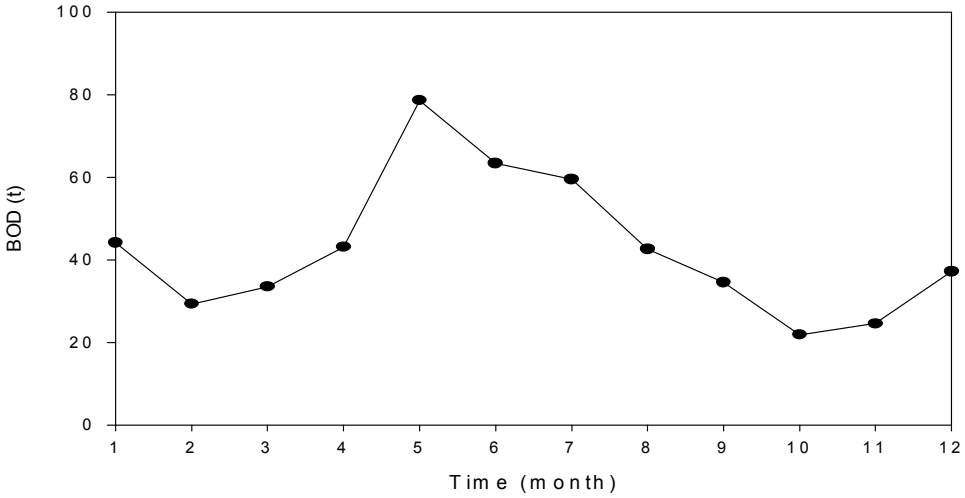

Fig. 2. BOD Generation according to time.

Table 41. Amount of BOD in discharging sugar waste water

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Source waste water (t)	10380	6590	4760	9900	12280	13320	14855	12070	8515	6635	5435	6315	111055
BOD (ton)	44.125	29.339	33.482	43.105	78.580	63.310	59.479	42.571	34.545	21.876	24.583	37.189	539.291

당 폐수는 캔디류 생산수율이 87.5%, 아이스크림류 생산수율이 97.3%인 조건에서 발생하였다. 캔디동 발생 원폐수 배출농도가 높은 것은 생산수율과의 관계가 밀접하므로 생산공정 관리개선에 의한 수율향상이 생산원가 절감과 오염물질 배출저감목표 달성을 가능하게 하며 폐수처리시설의 부하관리를 용이하게 할 수 있다.

Collection @ chosun

(3) Bulking 발생[16)]

4~8월의 성수기에는 급격한 과부하 유입과 N.P 불균형으로 BOD 제거율이 저하되고 점액성 Bulking 등이 발생하므로 방류수질은 현저히 악화가 되며, 일시적으로는 배출허용기준을 초과하는 경우가 발생하기도 하는데, 수질악화 시에는 정상회복까지 2~3개월의 장기간이 소요되는 난제가 연례적으로 발생하고 있다.

동절기에는 저부하 유입과 폭기조 수온저하로 인해 미생물의 활성 감소로 유기물 분해율이 떨어져 Floc 해체성 Bulking이 발생하는 원인이 되고 있다. 당 폐수처리공정에서는 사상성 Bulking이나 Floc 해체성 Bulking 보다 과부하나 N.P 결핍에 의한 점액성 Bulking이 주로 발생한다.

(4) 특정 수질유해물질 검출

아이스크림 제조시설은 특정 유해물질의 배출이 없으므로 통상적으로는 폐수배출시설설치 신고 대상으로 분류되나 폐수발생원 조사대상 및 폐수배출허용기준에는 포함되지 않는 광물성 N-H이 213.2mg/ℓ의 농도로 높게 유입되나 물리·화학적 처리과정에서 제거되므로 방류수에는 잔류하지 않는다, 그러나 제거된 광물성 N-H은 슬러지케익에 잔류하여 배출됨으로써 유기성 슬러지 재이용시 영향을 끼칠 수 있다.

Table 13과 같이 원폐수에는 Cu 0.32mg/ℓ, Pb 0.04mg/ℓ, Hg 0.29mg/ℓ가 검출되고 있고 방류수에는 Cu 0.08mg/ℓ, Pb 0.02mg/ℓ 잔류하고 있다.

검출된 중금속은 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률” 제2조 시행규칙 제4조 별표3에 규정한 특정수질 유해물질에 해당되므로[16)] 공업용수에 기인한 사유가 아닐 경우에는 향후 폐수배출시설 설치허가로 전환의 검토가 필요하다. 그러므로 원폐수와 방류수는 10년 단위의 의무적 특정수질유해물질 잔류여부 검사제도 도입이 필요하다.

(5) 전문 인력 수급 곤란

난분해성 당 폐수를 배출하는 아이스크림제조 OEM공장은 영세한 중소업체 규모로써 생산현장에서의 폐수배출원 관리가 미흡하다.

Collection @ chosun

또한 폐수처리시설의 설치용량이 불충분하거나 당 폐수의 처리기술이 축적되지 않은 관계로 년 중 수질관리가 상시 불안정하므로, 폐수처리 전문인력의 이직이 빈번하고 환경기사들의 취업기피 대상 업체로 분류되고 있는 실정이다. 이에 비해 배출허용기준은 “가” 지역으로 상향되어 BOD 농도가 33%가 강화되었으며, 지도단속도 단순한 방류수질 상태보다는 전반적인 환경성을 점검하는 추세이지만 숙련된 인력의 확보가 곤란하여 적절한 대응을 하기가 어려움에 따라 중소기업의 경영을 불안정하게 하는 요소가 되고 있다.

이러한 문제로 인해 이직율이 높은 중소기업의 환경관리능력을 보강해서 오염물질 배출량을 최소화하고 환경설비의 운전효율을 높이기 위한 대안으로 환경오염방지시설의 관리대행업이 시행되고 있다.

관리대행업체는 업체 간 수주경쟁시장이 포화상태에 도달함에 따라 수익성 있는 수주가 어렵고 결과적으로 최저가 입찰 또는 치열한 경쟁수주를 할 수 밖에 없음으로 인해 관리대행 종사근로자에 대한 임금수준이 낮게 책정된다.

관리대행을 위탁하는 폐수처리시설 또한 중소기업수준임에 따라 환경설비가 노후되어 정상적인 수질관리에 부담이 크므로 3D 업종으로 인식되어 장기간 숙련된 기술인력의 확보가 어려우며, 전직과 이직율이 매우 높은 편이다.

결과적으로 오염물질 배출을 저감하는 수질오염방지시설의 최적관리가 곤란하게 됨으로써 폐수처리시설의 관리대행 전·후 수질오염물질 배출량은 감소하지 않고 오히려 증가하는 경향이 있으므로 관리대행에 의한 오염물질저감 목표달성 효과의 재평가가 필요한 시점이다.

고농도 당 폐수의 안정적 처리를 위해서는 소속사에서 환경기사가 장기근속을 함으로써 처리기술의 축적이 이루어지므로 기업규제완화특별법에 의한 환경기사채용기준 완화조치의 개선이 요구된다.

또한 전문대와 4년제 대학에서의 환경관련학과 통폐합으로 환경인력의 배출규모가 축소되고 있으며 환경기사 자격시험의 난이도가 일반적으로 높게 평가되고 있어서 환경관련학과 재학생들의 자격시험 응시율과 자격증 취득률이 떨어지고 있다.

2008.현재 호남권에서는 환경기사가 부족한 실정이어서 환경설비업체나 환경영향평가업체 등 환경서비스 제공업체 등의 인건비 상승요인 되고 있다.

Collection @ chosun

그러므로 환경기사자격시험 출제강도의 완화조치를 통한 환경기술인 배출의 증가를 유도해야 할 필요가 있다.

4. 아이스크림 당 폐수처리 기존 공정[15,17,18,19,53]

당 폐수는 배출농도가 높고 활성슬러지조에서 과부하 발생에 의한 난분해가 자주 발생하므로 일반적인 폐수처리운전방식으로는 충분한 분해가 곤란하다. 당 폐수는 원폐수 집수조와 1차 화학적처리 후 유량조정조에 일정시간 저류한 후 농도를 균질화한 다음 호기성 생물분해조에 일정량 투입처리를 하게 된다.

각각의 집수조에는 공기를 공급하여 혼합과 균질화 처리를 하게 되는데 산소소비량의 요구도가 크므로 혐기성 운전상태가 되어서 곰팡이가 증식하고 유기산이 생성되므로 pH는 3~4까지 저하된다.[17] 이 과정에서 Table 27과 같이 메틸메르캅탄과 아세트알데히드, iso-발레르, 암모니아가스 등이 생성되므로 악취가 극심하게 발생하게 된다.

Table 42. Chemical disposal process of ice cream

Process / Company	Chemical process		Aerobic process
	Coagulation sinking tank	Dissolved air flotation tank	
Kwangju H factory	-	○	Long-ternm aeartor
Jangsung M factory	-	○	Long-ternm aeartor
Damyang S factory	-	○	Long-ternm aeartor
Hayang H factory	-	○	Long-ternm aeartor
Daejeon B factory	-	○	Long-ternm aeartor
Hwasoon S factory	-	○	Long-ternm aeartor
Anyang H factory	○	-	Long-ternm aeartor

Collection @ chosun

그러므로 원폐수 집수조나 1차 처리 유량조정조에 곰팡이를 증식하여 일정량의 유기물을 제거한 후 호기성 생물분해조로 이송시 유기물처리율은 향상이 이루어 질 수 있으나 발생한 악취는 별도 처리시설설치가 요구되며 중화제의 사용이 증가하게 된다. 이에 따라 일반적인 당 폐수처리장에서는 Table 42와 같이 “스크린 - 유수분리 - 화학적처리 - 장기폭기처리 - 침전 - 방류”의 처리공정을 적용하게 된다.

원폐수 중의 유기물은 비중은 가볍고 화학적 처리장치는 콤팩트화가 필요하므로 고액분리효율이 응집침전조보다 3배가 빠른 가압부상조를 적용하고 있으며, 7개 아이스크림제조회사의 폐수처리공정조사 결과를 보면 기존의 폐수처리공정인 1차 물리적처리, 2차 가압부상처리, 3차 장기폭기처리공정이 공통적으로 적용되어 있다.

최근에 N, P처리를 위해 무산소조나 혐기성조의 도입이 검토되는 추세이나 2차 생물학적 처리나 고도처리공정의 도입은 적용되어 있지 않다. 당 폐수의 활성슬러지공정으로서 장기폭기법을 선택하고 있다.

Table 43. Standard of designing Extended aeration tank

Classification	1	2	3	Target limits	Practical operation
BOD volume load	0.1~0.4	0.15~0.25	0.15~0.25	0.34	0.55
F/M ratio	0.05~1.5	0.03~0.05	0.03~0.05	0.09	0.07
MLSS (mg/ℓ)	3000~6000	3000~4000	3000~6000	4000	7618
HRT (hr)	18~36	16~24	16~24	75	158
Feedback rate	0.5~1.5	0.5~1.5	0.5~1.5	1.0~1.5	1.0~2.0
SRT (day)	20~30	13~50	15~30		
Blowing amount		15	15		

1. 미국 WEF & ASCE. 1992, .Metcalf & Eddy.inc..1991
2. 일본 일본하수도 협회. 1994
3. 동화기술 용·폐수처리와 설계관리. 2004

Collection @ chosun

Table 43과 같이 장기폭기법의 설계기준은 미국 WEF & ASCE, 1992, Metcalf & Eddy inc. 1991과, 일본 일본하수도협회 1994, 한국 동화기술 용·폐수처리와 설계관리 2004,에서 상호 유사한 기준 값을 제시하고 있다.[15,18,19]

이와 같이 통상적인 설계기준을 근거로 하여 당 폐수 폐수처리시설의 설계에는 가압부상조를 도입하였고, 설계 BOD용적부하는 0.34kg BOD/㎥/일, HRT는 2.80day로 설계하였다. 장기폭기조의 MLSS농도는 4000mg/ℓ, F/M비는 0.09kg BOD/kg. MLSS/일로 설계되어 있으나 실제 운전중인 평균 용적부하는 0.55kg BOD/㎥.day, MLSS 농도는 7618mg/ℓ, F/M비는 0.07, HRT는 4.11일 이었다. BOD 유입부하는 설계부하를 1.62배 초과하였다.

1, 2차 처리과정에서 제거되지 않은 용존 유기물은 생물분해조로 유입이 되어 호기성미생물에 의해 최종적인 분해가 이루어진다.

(1) 물리 · 화학적 처리과정

설탕, 고과당, 물엿 등의 당류는 수용성이고 생산설비 세척시 80~90℃의 온수를 이용하며 발생 원폐수의 수온은 12~38℃ 임에 따라 폐수에 완전히 용해된 상태로 유입이 된다. 이러한 용해성 오염물질은 1차 물리적 여과나 유수분리, 스크린여과 과정에서 제거되지 않는다. 2차 화학적처리 공정에서는 무기응집제와 유기 고분자응집제를 첨가하여 부유성 및 콜로이드성 입자를 응집한 후 부상분리 처리한다.

(2) 화학적 처리결과[53]

원폐수의 화학적 처리공정은 반응조와 응집조 및 가압부상조로 구성되어 있다. 반응조 체류시간은 평균 20분이고, 교반기는 패들형으로써 교반속도는 120rpm이다. 응집조 체류시간은 평균 30분이며, 교반속도는 60rpm이다.

반응조에 유입되는 pH 5.3의 원폐수 중화제로는 98% 고상 NaOH가 310.8mg/ℓ의 농도로 투입되었고, 무기응집제는 액상의 11% PAC 183.0mg/ℓ가 투입되었다. 응집조에서는 강카치온의 액상 유기고분자 응집보조제를 40.0mg/ℓ투입하여 Floc형성을 촉진하였다.

Collection @ chosun

가압부상조는 2단 가압펌프를 가동하여 2kg/cm^{2}의 가압을 함으로써 폐수중의 응집 Floc에 공기기포를 부착해서 부상분리 제거하고 분리된 응집스컴은 탈수처리를 하며 상등수는 유량조정조로 이송하여 균질화를 유도한다.[53)]

화학적 응집처리는 수온상승에 따라 물 분자의 활동이 활성화되므로 응집 Floc 형성이 촉진된다. 그리고 반응 R.P.M, pH, 액성, 응집제 첨가농도, 체류시간 등에 따라 응집 Floc형성이 달라지는데 겨울철에는 원폐수의 수온이 12℃까지 낮아지나 유입 폐수량과 BOD부하 감소효과에 따라 실질적인 화학적 처리 효율의 변화 차는 적은편이다.

Table 44. Concentration for BOD disposal

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ave.
Source waste-water (mg/ℓ)	4251	4452	7034	4354	6399	4753	4004	3527	4057	3297	4523	5889	4712
Chemical treatment (mg/ℓ)	2112	2846	3489	2890	3984	3218	2637	2396	2921	1864	2597	2409	2773
Treatment rate (%)	50.32	36.07	50.40	33.62	39.15	32.30	34.14	32.07	28.00	43.46	42.58	59.09	41.15

Table 44와 같이 년 중 BOD물질의 화학적 처리효율은 28.0~59.09% 범위이며 평균 41.15%로 측정되었으나 화학적 처리수의 시료분석 시 1차처리 유량조정조에서 12.9~40시간 이상 체류한 시료를 채수함에 따라 유량조정조에서 혐기화에 의해 유기산 발효가 발생한 후의 농도를 화학적 처리효율 농도로 분석하는 오류가 발생하고 있다.

Table 45, 46, 47과 같이 COD 제거율은 13.41~45.48%이며 평균 33.46%이다. SS 제거율은 90.59~95.91%로 평균 93.37%이고, N-H 제거율은 86.55~97.71% 이며 평균 91.13%이다.

dCollection @ chosun

Table 45. Concentration for COD disposal

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ave.
Source waste-water (mg/ℓ)	2849	3332	3586	3669	4267	3932	3795	4031	3172	2768	3618	2729	3479
Chemical treatment (mg/ℓ)	1973	2236	2426	2267	2828	2496	2525	2639	2323	1509	2201	2362	2315
Treatment rate (%)	30.75	32.89	32.35	38.21	33.72	36.52	33.47	34.53	26.77	45.48	39.17	13.41	33.46

Table 46. Concentration for SS disposal

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ave.
Source waste-water (mg/ℓ)	1240	997	1337	2149	2055	1631	1654	1730	1655	1487	1509	1208	1554
Chemical treatment (mg/ℓ)	112	75	62	88	117	90	113	123	117	140	106	93	103
Treatment rate (%)	90.97	92.48	95.36	95.91	94.31	94.48	93.17	92.89	92.93	90.59	92.98	92.30	93.37

Table 47. Concentration for N-H disposal

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ave.
Source waste-water (mg/ℓ)	140.35	104	226	115	35.4	23.2	15.0	19.3	25.3	17.85	18.50	13.7	62.80
Chemical treatment (mg/ℓ)	5.0	10.8	30.4	13.4	1.24	1.10	1.52	0.72	0.58	0.49	0.76	0.98	5.57
Treatment rate (%)	96.44	89.62	86.55	88.35	96.50	95.26	89.87	96.27	97.71	97.25	95.89	92.85	91.13

Collection @ chosun

Table 48, 49와 같이 영양염류인 T-N의 제거범위는 19.93~83.52%의 큰 차이를 보이는데 1~2월 중 제거율이 낮은 것은 저온에 의한 반응저하와 활성슬러지조의 저부하를 고려한 화학처리용 응집제 첨가량을 줄인 데에 기인한다.

3월 이후의 화학적 처리율은 안정되어 있으나 위의 요인에 의해 T-N의 평균제거율은 69.08%로 낮게 나타났다.

Table 48. Concentration for T-N disposal

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ave.
Source waste-water (mg/ℓ)	74.85	82.3	27.0	49.09	75.5	52.2	75.6	87.4	47.2	71.85	69.60	59.8	64.37
Chemical treatment (mg/ℓ)	40.4	65.9	8.6	12.6	15.8	8.6	15.2	15.7	15.7	14.0	13.51	12.75	19.9
Treatment rate (%)	46.03	19.93	68.15	74.33	79.07	83.52	79.76	82.04	66.74	80.51	80.59	78.68	69.08

Table 49. Concentration for T-P disposal

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ave.
Source waste-water (mg/ℓ)	24.68	14.46	3.36	7.41	16.53	11.79	9.02	7.16	11.3	11.18	10.19	8.10	11.27
Chemical treatment (mg/ℓ)	5.45	4.57	2.75	1.40	3.63	3.04	2.58	2.10	1.85	1.41	1.32	1.18	2.61
Treatment rate (%)	77.91	68.40	18.15	81.11	78.04	74.22	71.40	70.67	83.63	87.39	87.05	85.43	76.84

T-P의 제거범위는 18.15~87.39%의 큰 차이를 보이고 있는데 3월 유입된 원폐수 중의 T-P 농도가 3.36mg/ℓ로 현저히 낮았고 첨가한 응집제는 폐수중 부유 고형분 제거에 대부분 소비된 영향이다. 응집제인 11% PAC의 첨가농도는 평균 183mg/ℓ이었으나 3월 첨가농도는 120.8 mg/ℓ로 낮았다. 이러한 영향에 의해 T-P의 제거율은 평균 76.84%가 유지되었다. 고농도 당 폐수의 화학적 처리효과는 전반적으로 양호한 수준으로 운전됨으로써 후단 생물학적

Collection @ chosun

처리조의 운전부하를 경감하는 적정한 관리가 가능하다.

(3) 생물학적 처리[20~22,40]

① C/N 비

당 폐수의 생물분해를 위한 중요한 요소는 BOD:N:P의 균형조건이 충족되어야 한다. Table 50과 같이 원폐수의 C/N 비를 분석한 결과를 보면 COD_{Mn}으로 C/N비는 54이고 화학적처리 후의 C/N비는 116으로 낮아져서 유기물의 안정적 분해가 어려운 조건이 형성된다.

이것은 원폐수의 화학적 처리시 부유고형물에 잔류하는 T-N이 응집분리 됨에 따른 결과이며 화학적 처리시 제거되는 T-N은 평균 69.08%이다.

당 폐수의 생물학적 분해를 위해 권고되는 C/N비 30의 조건을 충족하고 미생물의 활성을 위해 필수적인 요소인 질소를 공급하기 위해 과립상의 요소를 첨가하여 C/N비를 34로 조정한 후 생물학적 처리를 한 결과 T-N 제거율은 93.38%이고, 방류수의 T-N 평균농도는 4.48mg/ℓ로써 배출허용기준의 7.5% 수준을 유지하였다.

Table. 50 Ratio of C/N in sugar waste water

Classification	Source wastewater	Dissolved air flotation tank	Urea addition	Release tank
COD_{Mn}	3479	2315	2315	15.8
T-N (mg/ℓ)	64.37	19.9	67.67	4.48
C/N ratio	54	116	34	3.5

② BOD/COD 비[20]

활성슬러지 미생물에 의해 오염물질의 원활한 분해를 위한 BOD/COD비는 1.0 이상이 요구된다.[20] 이것은 미생물증식에 필요한 충분한 정도의 유기물이 잔류해야 함을 의미한다.

dCollection @ chosun

Table 51, 52와 같이 당 폐수의 BOD/COD 비를 분석한 값에 따르면 원폐수는 1.35이고, 화학적처리가 끝난 처리수는 1.20으로 생물학적 처리에 적합한 성상을 갖추고 있다

방류수의 BOD/COD는 0.28로 나타났는데 이는 생물분해조에서 분해 가능한 유기물은 최대한 분해가 이루어졌으며, 생물분해가 곤란한 첨가물 등 화학물질과 생물분해시 발생하는 미생물 대사산물이 잔류한 영향이다.

당 폐수처리의 향후과제로는 잔류 난분해성 COD 물질의 추가 분해공정과 SS의 제거율 개선을 위한 연구테마의 선정이 필요하다.

방류되는 잔류물질의 회분 분석결과 값이 60.5%인데 이는 활성슬러지 Floc 안정화를 통한 회분의 생체 내 흡착제거가 요구된다.

Table 51. Ratio of BOD/COD

Process / Items	Source wastewater	Dissolved air flotation	Biological decomposition
BOD concentration (mg/ℓ)	4712	2773	4.5
COD concentration (mg/ℓ)	3479	2315	15.8
BOD/COD	1.35	1.20	0.28

Table 52. Ratio of ash in discharge water

Month	Burn ash (%)	Month	Burn ash (%)
1	46.5	7	49.0
2	45.4	8	53.8
3	69.4	9	58.9
4	70.9	10	69.1
5	67.7	11	61.0
6	61.8	12	72.9
Average (%)	60.5 ·		

Collection @ chosun

(4) 생물학적 처리공정개발[21)]

하·폐수의 생물학적 처리는 1914년 영국의 화학공학회에서 활성슬러지법을 공인한 이후 하· 폐수의 보편적 처리공법으로 적용되었다.[21)] 국내에는 1970년대에 활성슬러지 공법이 도입 된 후 환경기초시설과 산업체 폐수처리공법으로 시공되었으나 미생물 관리기술이 부족하여 수처리에 많은 어려움을 겪었다. 1990년대 들어 수처리 현장에서 활성슬러지공법의 운전기술은 정착이 되었다. 1980년대 중반이후 접촉산화조등의 활성슬러지 변법이 보급되기 시작했으나 기존 활성슬러지법보다 안정된 처리효율을 유지할 수 있는 운전기술이 개발되지 않은 관계로 폐기되고, 활성슬러지 공법이 하· 폐수의 주 처리공법으로 정착한 것이다.

호기성 폐수처리의 목적은 1900~1970년대에는 하· 폐수중의 유기물과 병원성 세균의 제거이었으나, 1970~1980년대에는 부영양화물질인 N, P의 제거 목적이 추가되었으며, 1980년대 이후에는 방류수 중에 잔류하는 미량의 독성물질 등을 제거하는 고도처리로 변하였다.

(5) 호기성처리목표

활성슬러지공법을 대표로 하는 호기성처리공법은 설계처리효율을 90~95%로 하여 설계 시공하고 있으나 폐수처리현장에서의 운전기술은 지속적으로 발전하여 설계 목표효율을 초과 운전하는 추세이다.

활성슬러지공법의 설계목표 값으로 제시된 운전효율은 미생물의 최적관리에 의한 생물흡착기술이 충분히 개발되지 않은, 공법 개발초기의 운전기술을 평가하여 설정한 처리한계를 토대로 하고 있다. 일반적으로 시공 후 달성하기 쉬운 처리목표를 설정하는 관계로 설계효율달성은 용이한 편이나 현대의 폐수처리수준이 요구하고 있는 오염물질의 충분한 저감목표 달성에는 미흡한 수준이다. 처리효율 95% 이상을 달성하기 위한 고도처리 개념으로 활성슬러지 유사 공법이나 신공법등을 잔류오염물질 제거공정으로 추가 도입을 하는 추세이나 요구되는 수질기준을 충족하지는 못하고 있다.

dCollection @ chosun

(6) 호기성미생물의 생물저항성[22)]

활성슬러지 미생물은 제안된 오염물질 제거능력을 초과하는 처리효율을 발휘해야 하지만 생물증식이 양호한 최적의 조건을 유지 할 경우에는 미생물의 분해능력 극대화를 이끌어 내기 어렵다. 그러므로 활성슬러지 미생물에 대한 간헐적인 충격부하와 순응을 통한 생물저항성을 자극해서 미생물생체 당 단위 흡착량을 최대한 늘리도록 하여야 한다.

이러한 노력은 폐수중의 N,P를 제거 하기위한 방법으로 "혐기-호기, 무산소-호기" 등 공정상의 충격부하를 유발하여 생물흡착력의 극대화를 유도하는 방식으로 적용이 되고 있다.

당 폐수는 고농도 유입과 유입부하 변동폭이 크므로 미생물이 분산성장을 하게 되기 때문에 분산된 Floc을 강화하거나 부상하는 슬러지의 침강성을 인위적으로 조정하여 Floc 형성과 침강성을 강제함으로써 오염물질 분해능을 최대화하는 순화 운전이 필요하다.

레이첼 카슨은 "침묵의 봄"에서 자연계는 생물고유의 환경적 저항력이 존재한다고 주장하였다.[22)] 이것은 폐수처리공정에서 기질이나 수온, PH, DO, 유해물질, 공존미생물, 포식자인 원생동물의 상태등이 미생물 개체별로 환경적 저항성을 유발하는 구성인자가 되는데, 과부하로 생물피로가 증가하면 미생물의 생체저항력은 약해지게 되지만, 미생물이 종족을 재생산하려는 폭발적인 힘이 발휘되므로 열악한 환경에 순화된 세포가 급증식하여서 환경저항력은 강화되므로 기질을 포식하게 된다는 것으로 이해할 수 있다.

미생물 순화공정은 오염물질부하를 분산시켜서 미생물의 원만한 분해를 촉진하는 방법이 아니라 강제된 과부하 조건에 미생물이 저항하고 적응하게 함으로써 생물잠재력을 일깨워 고농도 당 폐수의 처리효율을 99.95% 이상으로 유지하게 할 수 있다. 이러한 생물분해 개념을 도입하면 새로운 설계 목표치의 제시가 가능해진다.

(7) 장기폭기 공정 도입

당 폐수는 1차, 물리, 화학적처리 후 2차 호기성 생물학적 처리공정을 경유하게 되는 데 부하변동에 따른 충격부하가 자주 발생하고 장기폭기조 적용

Collection @ chosun

으로 동력비가 증가하며 Bulking과 Floc 해체, 사상균증식 등의 문제로 안정적 수처리가 곤란하다. 통상적으로 환경부등에서 제시한 장기폭기조 설계기준 값을 설계시공 시 적용하나 실제 원폐수 오염부하량과는 차이가 크고, 낮은 설계 용적부하인 0.1~0.4 범위가 제시되고 있어서 동력비와 운전비용 증가의 요인이 된다. 이러한 설계 값에 의한 운전결과는 저비용 고효율을 요구하는 시대적 필요성과 폐수처리공정에서의 온실가스 감축노력 추세와도 부합되지 않는다. 그러므로 호기성 생물분해조의 콤팩트한 설계 값 산출을 만족하게 하고 장기폭기 공정의 단점인 Floc의 분산해체를 개선해서 미생물의 유기물 섭취력을 높일 수 있는 공침공정의 도입이 필요하다.

(8) 생물학적 처리결과[23,40)]

원폐수는 지하 집수조에 0.3~0.5일 체류하며 수중펌프에 의해 가압부상조로 이송된 후 화학적 처리공정을 거친다.

화학적처리 후의 상등수는 유량조정조에서 0.5~1일 체류하는데 원폐수 집수조에는 디스크타입 산기관 18개가 설치되어있고, 화학적 처리수를 저류하는 유량조정조에는 볼타입산기관 210개를 설치하여 Roots-Blower로 송기한다.

송기에 의해 pH와 농도의 균질화를 위한 혼합이 이루어지고 있다. 원폐수 집수조에는 평균 BOD농도 4712mg/ℓ 유량조정조에는 2773mg/ℓ의 고농도 당폐수가 유입됨에 따라 충분한 송기에도 불구하고 용존산소가 고갈된 혐기성 조건이 되므로 유기산발효가 진행된다.[23)] 원폐수 집수조와 유량조정조의 pH는 4.0대로 떨어지고 NH_3, CH_4 등이 생성되어 악취가 발생하는 1단계 생물분해가 이루어지고 있다. 산성화된 체류수는 NaOH를 투입하여 pH를 6~7범위로 중화한 후 활성슬러지조에 투입이 되면 2단계 생물분해가 이루어진다.

활성슬러지 미생물에 의해 유기물질의 활발한 분해가 이루어지며 최종 방류되는 BOD농도는 4.5mg/ℓ이고, BOD의 월평균 방류농도 범위는 1.3~15.6mg/ℓ이나, 1월중 최대 배출농도는 77mg/ℓ에 이르는 상태를 보이고 있으므로 안정적인 BOD 처리율 개선대책이 요구된다. Table 53, 54 Fig.3과 같이 장기폭기조에서 분해되는 BOD처리율은 99.84% 이다.

Collection @ chosun

2004. 광주광역시 하수처리장의 BOD 제거율이 97.79%인 것을 볼 때 당 폐수 처리효율은 고부하 악조건에서도 훨씬 안정적인 것을 알 수 있다[40)]

Table 53. Concentration for BOD disposal

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
Input water (mg/ℓ)	2112	2846	3489	2890	3894	3218	2637	2396	2921	1864	2597	2409	2773
Output water (mg/ℓ)	15.6	6.7	12.3	1.9	3.1	1.6	2.6	2.9	2.1	1.3	2.3	1.7	4.5
Treatment rate (%)	99.26	99.76	99.65	99.93	99.92	99.95	99.90	99.88	99.93	99.93	99.91	99.93	99.84

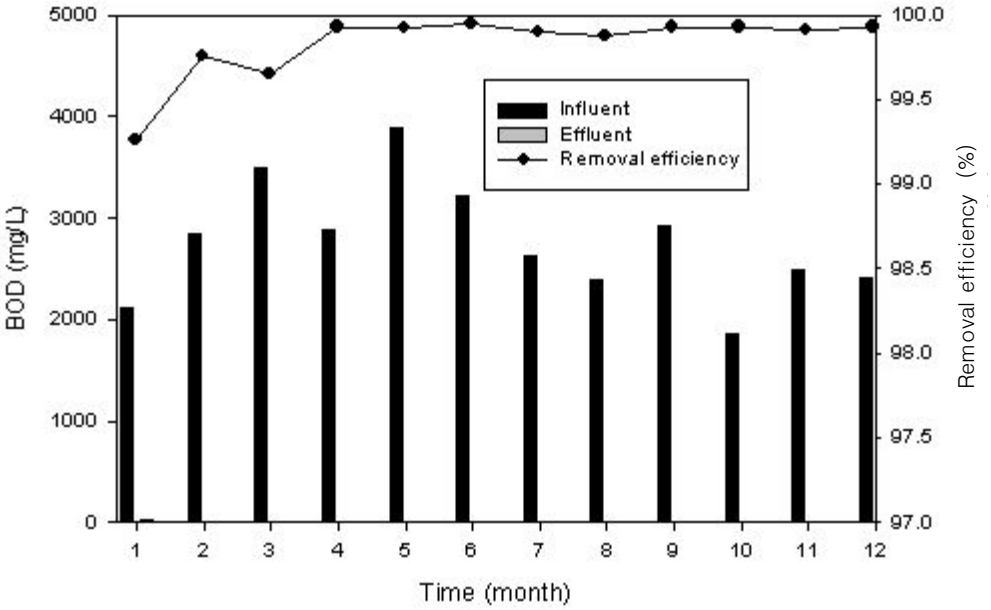

Fig. 3. BOD Treatment concentration according to month.

dCollection @ chosun

Table 54. Efficiency of biological disposal

	Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
Source waste water (mg/ℓ)	BOD	4251	4452	7034	4354	6399	4753	4004	3527	4057	3297	4523	5889	4712
	COD	2849	3332	3586	3669	4267	3932	3795	4031	3172	2768	3618	2729	3479
	SS	1240	997	1337	2149	2055	1631	1654	1730	1655	1487	1509	1208	1554
	N-H	140.35	104	226	115	35.4	23.2	15.0	19.3	25.3	17.85	18.50	13.70	62.80
	T-N	74.85	82.3	27.0	49.09	75.5	52.2	75.6	87.4	47.2	71.85	69.60	59.8	64.37
	T-P	24.68	14.46	3.36	7.41	16.53	11.79	9.02	7.16	11.3	11.18	10.19	8.10	11.27
Input water	BOD	2112	2846	3489	2890	3894	3218	2637	2396	2921	1864	2597	2409	2773
	COD	1973	2236	2426	2267	2828	2496	2525	2639	2323	1509	2201	2362	2315
	SS	112	75	62	88	117	90	113	123	117	140	106	93	103
	N-H	5.0	10.8	30.4	13.4	1.24	1.1	1.52	0.72	0.58	0.49	0.76	0.98	5.57
	T-N	40.4	65.9	8.6	12.6	15.8	8.6	15.2	15.7	15.7	14.0	13.51	12.75	19.9
	T-P	5.45	4.57	2.75	1.4	3.63	3.04	2.58	2.10	1.85	1.41	1.32	1.18	2.61
Output water	BOD	15.6	6.7	12.3	1.9	3.1	1.6	2.6	2.9	2.1	1.3	2.3	1.7	4.5
	COD	43.0	25	12.8	14.0	14.4	10.3	10.1	11.7	14.6	15.1	10.3	8.7	15.8
	SS	39.2	9	11	5.1	15	18	7.8	7.4	4.9	5.2	5.5	8.0	11.3
	N-H	0.74	0.74	0.74	0.33	1.07	0.74	0.74	0.50	0.50	0.49	0.74	0.64	0.66
	T-N	0.215	1.15	1.12	0.41	0.78	1.33	7.89	25.6	5.77	6.90	1.22	1.32	4.48
	T-P	0.09	0.133	0.12	0.043	0.236	0.133	0.14	0.13	0.16	0.08	0.322	0.138	0.144
Treat-ment rate (%)	BOD	99.26	99.76	99.65	99.93	99.92	99.95	99.90	99.88	99.93	99.93	99.91	99.93	99.84
	COD	97.82	98.88	99.47	99.38	99.49	99.59	99.60	99.56	99.37	99.00	99.53	99.63	99.32
	SS	65.0	88.0	82.26	94.20	87.18	80.0	93.10	93.99	95.81	96.29	94.81	91.40	89.03
	N-H	85.2	93.15	97.57	97.54	13.71	32.73	51.32	30.66	13.8	0.00	2.63	34.69	88.15
	T-N	99.47	98.25	86.98	96.75	95.06	84.53	48.09	-63.06	63.25	50.70	90.97	89.65	77.49
	T-P	98.35	97.09	95.64	96.93	93.50	95.63	94.57	93.81	91.35	94.33	75.61	88.31	94.48

dCollection @ chosun

Table 55~59, Fig. 4~8과 같이 COD 제거율은 99.32%이다. SS 제거율은 89.03% 이며, N-H 제거율은 88.15%이다. T-N 제거율은 93.38%이고 T-P의 제거율은 98.94%이다.

Table 55. Concentration for COD disposal

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
Input water (mg/ℓ)	1973	2336	2426	2267	2828	2496	2525	2639	2323	1509	2201	2362	2315
Output water (mg/ℓ)	43.0	25	12.8	14.0	14.4	10.3	10.1	11.7	14.6	15.1	10.3	8.7	15.8
Treatment rate (%)	97.82	98.88	99.47	99.38	99.49	99.59	99.60	99.56	99.37	99.00	99.53	99.63	99.32

Table 56. Concentration for SS disposal

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
Input water (mg/ℓ)	112	75	62	88	117	90	113	123	117	140	106	93	103
Output water (mg/ℓ)	39.2	9	11	5.1	15	18	7.8	7.4	4.9	5.2	5.5	8.0	11.3
Treatment rate (%)	65.0	88.0	82.26	94.20	87.18	80.0	93.10	93.98	95.81	96.29	94.81	91.40	89.03

Table 57. Concentration for N-H disposal

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
Input water (mg/ℓ)	5.0	10.8	30.4	13.4	1.24	1.10	1.52	0.72	0.58	0.49	0.76	0.98	5.57
Output water (mg/ℓ)	0.74	0.74	0.74	0.33	1.07	0.74	0.74	0.50	0.50	0.49	0.74	0.64	0.66
Treatment rate (%)	85.20	93.15	97.57	97.54	13.71	32.73	51.32	30.56	13.79	0.00	2.63	34.69	88.15

dCollection @ chosun

Table 58. Concentration for T-N disposal

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
Input water (mg/ℓ)	40.4	65.9	8.6	12.6	15.8	8.6	15.2	15.7	15.7	14.0	13.51	12.75	19.9
Supplement water (mg/ℓ)	68.5	100.6	58.94	62.57	70.15	64.7	78.81	87.23	72.15	60.77	45.71	41.91	67.67
Output water (mg/ℓ)	0.215	1.15	1.12	0.41	0.78	1.33	7.89	25.6	5.77	6.9	1.22	1.32	4.48
Average treatment rate (%)	99.69	98.86	98.10	99.34	98.89	97.94	89.99	70.65	92.00	88.65	97.33	96.85	93.38

Table 59. Concentration for T-P disposal

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
Input water (mg/ℓ)	5.45	4.57	2.75	1.40	3.63	3.04	2.58	2.10	1.85	1.41	1.32	1.18	2.61
Supplement water (mg/ℓ)	13.07	14.52	13.46	10.83	11.20	10.40	12.48	14.29	12.44	13.57	18.49	17.71	13.54
Output water (mg/ℓ)	0.09	0.133	0.12	0.043	0.236	0.133	0.14	0.13	0.16	0.08	0.322	0.138	0.144
Treatment rate (%)	99.31	99.08	99.11	99.60	97.89	98.72	98.88	99.09	98.71	99.41	98.26	99.22	98.94

Collection @ chosun

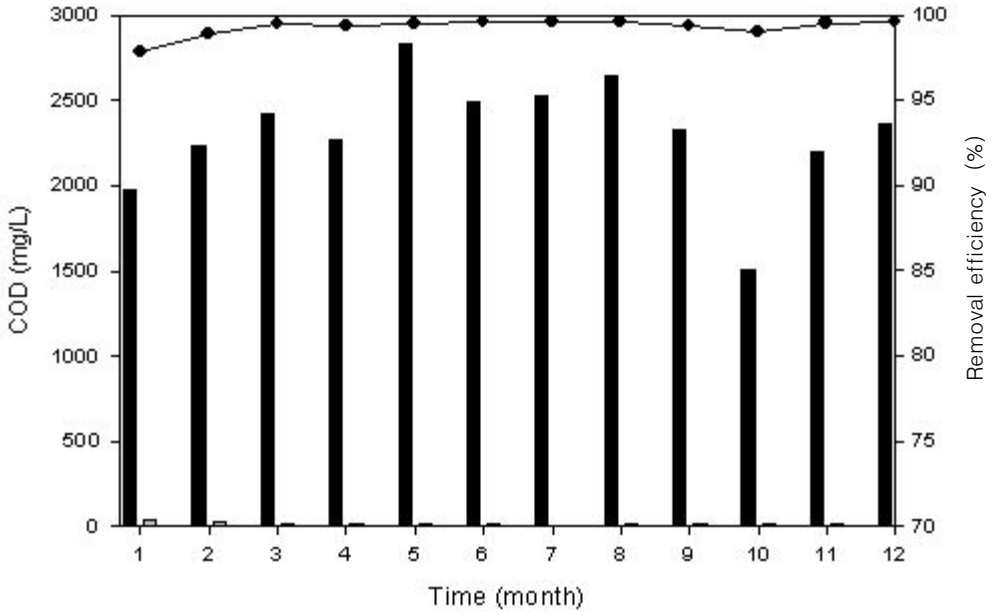

Fig. 4. COD Treatment concentration according to month.

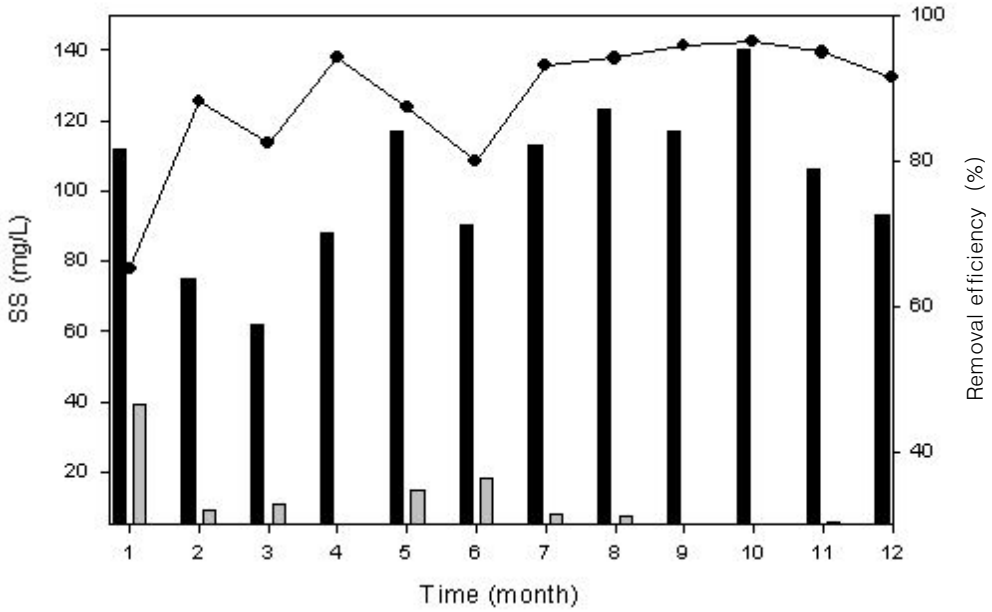

Fig. 5. SS Treatment concentration according to month.

Collection @ chosun

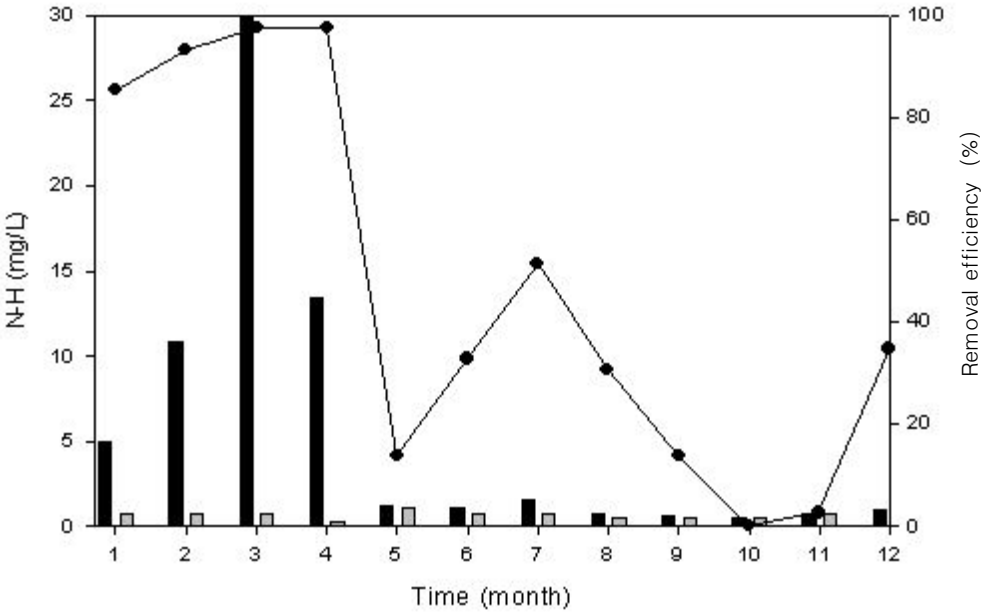

Fig. 6. N-H Treatment concentration according to month.

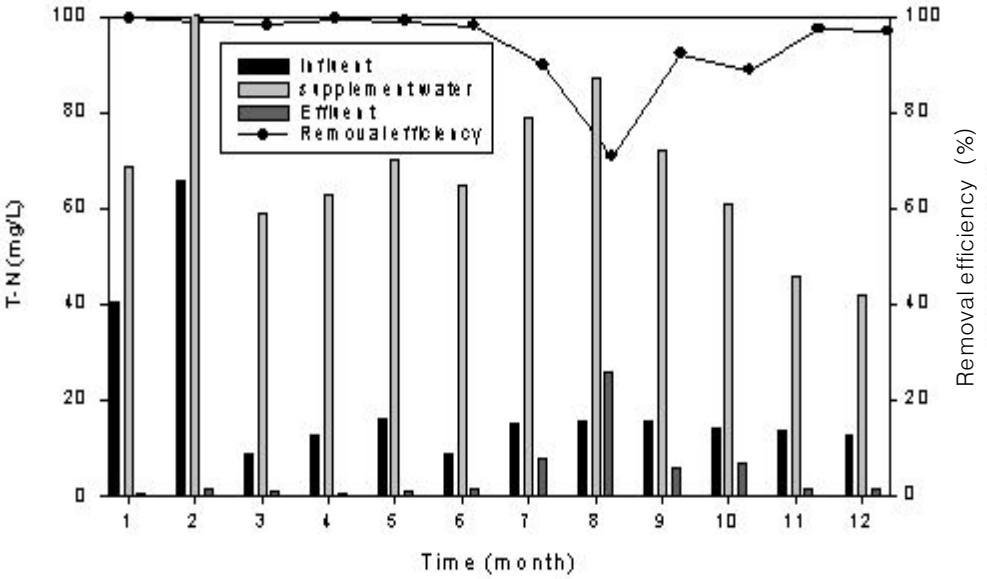

Fig. 7. T-N Treatment concentration according to month.

Collection @ chosun

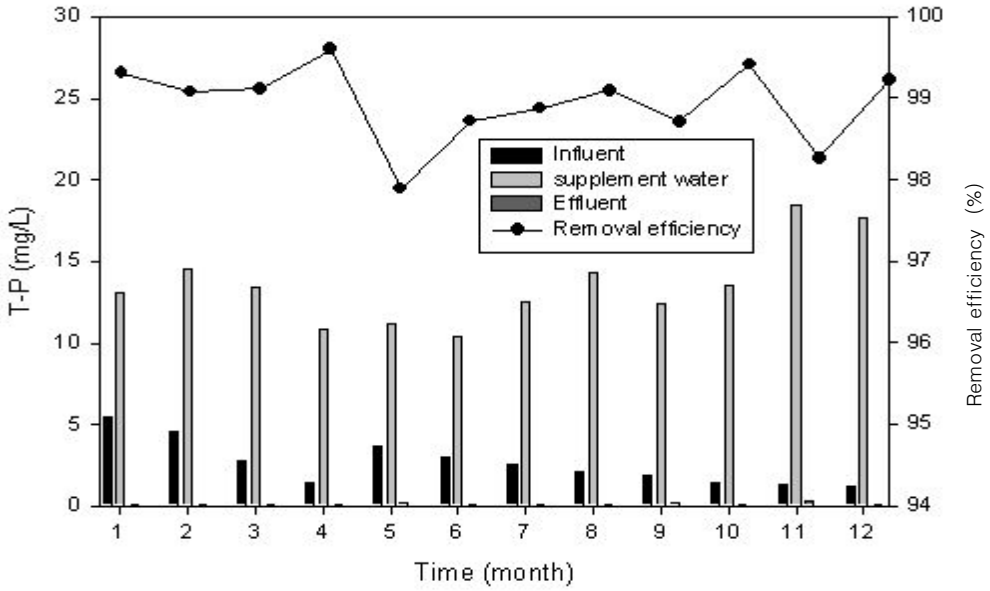

Fig. 8. T-P Treatment concentration according to month.

Collection @ chosun

제 3 장 실험장치 및 실험방법

제1절 실험장치

당 폐수의 호기성 분해과정에 관한 연구는 Fig. 9와 같이 기존 1763㎥용량으로 3단계로 구획된 장기폭기조와 170㎥용량의 침전조를 대상으로 하는 3단 장기폭기조 공정에 의한 당 폐수의 처리공정을 “1단 고율 활성슬러지처리 - 공침처리 - 감람석 여과처리 - 공기산화처리의 공정“으로 전환 할 경우 폭기조 용적 감소로 폐수처리효율은 이론적 처리효율을 초월하는 획기적인 성과를 거둘 수 있을 것이라 사료되어 실제처리 중인 당 폐수의 분해효과를 조사하였다. 조사한 각 폭기조의 단계별 처리효율 측정값은 당 폐수처리현장의 실질적인 운전결과에 대한 대표 값으로 인용이 가능하리라 사료된다.

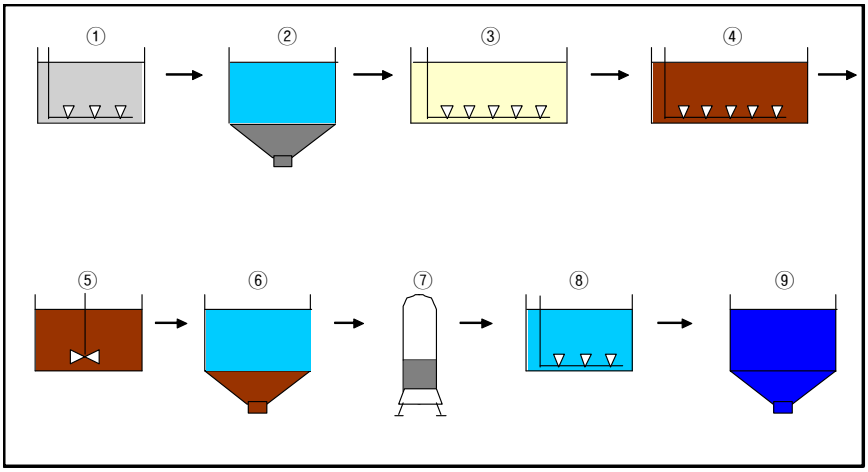

Fig. 9. Waste water treatment process.

* 범례 ①원폐수 ②가압부상조 ③유기산 발효조 ④고율폭기조
⑤공침반응조 ⑥1차침전조 ⑦감람석여과조 ⑧공기산화조
⑨최종침전조

Collection @ chosun

제2절 실험 측정방법[24)]

1. 공정별 수질분석

당 폐수가 발생하는 00공장의 생물학적 처리효율을 측정하기 위하여 2007년 1월부터 2008년 12월까지 시료를 채수하여 분석하였다.

측정조건은 장기폭기조 내 체류시간별, 수온별, 용적부하별, DO 농도별, 수온별, F/M비별로 운전 상태를 조사하였고 유입수 채취지점은 장기폭기조에 1차 처리수가 유입되는 지점과, 3단의 각 폭기조 별 후단 인출부에서 채취하였으며 방류수의 채취지점은 최종침전조의 월류 웨어 유출부이다.

2. 수질 분석방법

생물학적 처리공정별 수질측정 항목은 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률에 규정되어 있는 일반 폐수배출시설의 규제항목인 pH, BOD, COD, SS, N-H, T-N, T-P등이고 현장 측정항목은 수온, pH, DO 이다.

활성슬러지 미생물의 유기물 분해력을 파악하기 위하여 생체흡착율을 조사하였으며, 유기물의 생체전환율과 당 폐수처리시의 최적 BOD:N:P비를 조사하였고, 실험실 분석방법은 Table 60과 같이 수질오염공정시험법에 의거하였다.[24)]

Table 60. Method of measurement by item

Items	Analytical methods
BOD	윙클러-아지트화나트륨 변법
COD_{Mn}	산성 100℃ 과망간산 칼륨법
SS	Glass-filter법
T-N	n-Hexane 추출법
T-P	흡광광도법
N-H	흡광광도법

Collection @ chosun

제 4 장 실험결과 및 고찰

제1절 용적부하별 처리효율[19,49)]

장기폭기조는 588㎥용량의 폭기조가 3단으로 설치되어 있고 충분한 용존산소의 공급을 위해 미세기포 공급이 가능한 멤브레인 산기관 210개를 설치하였다. 폐수의 유입은 1차 폭기조의 반송슬러지가 유입하는 V-Knoch로 하였고, 각 폭기조는 완전혼합방식으로 운전하였다.

송기장치로는 30kw Roots blower 4대를 설치하였으며, 브로아 최대가동시 폭기조에 송기되는 송기의 온도는 57℃로 측정되었고 송기량은 50~100㎥/min이다. 이로 인해 표준활성슬러지법보다 동력요구량이 크지만, 장기폭기조의 운전특성은 쇼크로드에 강하고 미생물의 자기산화를 유도하여 잉여슬러지 발생을 최소화 할 수 있으나, Floc의 미세화에 따라 pin point floc의 발생은 증가하므로 슬러지케익의 함수율은 높게 나타난다.

1. 유입수질[19)]

폐수처리장 장기폭기조에 유입되는 수질농도는 Table 61과 같으며 생물분해 후의 유출수질 농도는 Table 62와 같다.

Table 61. Input waste water

Items	Range (mg/ℓ)	Average (mg/ℓ)
BOD	2,112~3,894	2,773
COD	1,509~2,828	2315
SS	62~140	103
N-H	0.49~30.4	5.57
T-N	41.94~100.60	67.67
T-P	10.40~18.49	13.54

Collection @ chosun

Table 62. Efficiency of biological disposal

Items	Range (mg/ℓ)	Average (mg/ℓ)
BOD	1.3~15.6	4.5
COD	8.7~43.0	15.8
SS	4.9~39.2	11.3
N-H	0.33~1.07	0.66
T-N	0.41~25.6	4.48
T-P	0.08~0.322	0.144

일반적으로 생물학적 처리에 적합한 폐수의 구성비는 BOD : N : P 비율이 100 : 5 : 1로 권장되고 있으나 장기폭기조에서는 N, P의 요구율이 표준활성슬러지법보다 낮은 것으로 알려져 있다.[19)]

장기폭기조에 실제 유입하는 폐수의 구성비를 보면 BOD : N : P비가 100 : 0.7 : 0.09로 N, P함량이 현저히 부족하므로 N ,P의 첨가가 필요하다.

2. 장기폭기조 운전조건[49)]

2008년도 장기폭기조 전체의 용적부하는 Table 63과 같이 0.28~1.02kg BOD/㎥.day의 범위로 운전이 되었고, 평균용적부하는 0.55kg.BOD/㎥.day이다. 조업일별 최대용적부하는 2008년 5월 14일 1.61로써 설계용적부하를 4.7배 초과하여 운전이 되었다. 장기폭기조의 설계처리효율은 BOD 농도로 최대 95% 이었으나 실제 처리효율은 과부하 조건임에도 불구하고 99.84%의 높은 처리율을 보이고 있다. Table 64, Fig. 10과 같이 장기폭기조의 조별로 유입되는 용적부하를 조사한 결과를 보면 1차 폭기조에서 유입 유기물의 99.71%가 분해되었고, 1차 폭기조 용적부하는 년 평균 1.64kg.BOD/㎥.day 이며 최대값은 3.06kg.BOD/㎥.day이었다. 2차 폭기조의 용적부하는 0.004이고, 3차 폭기조는 0.002로써 2,3차 폭기조는 빈부하에 의한 자기산화 단계에서 운전이 되고 있다.

1차 폭기조의 용적부하는 10월 중이 최저로 0.83kg.BOD/㎥.day이고 5월 중

dCollection @ chosun

에 최대 3.06kg.BOD/㎥.day로 운전되어 3.69배의 극심한 운전부하 차이가 발생하였다. 당 폐수의 생물학적 처리공정인 장기폭기조의 1폭기조는 고율처리 공정으로 운전되고 있으며, 1998 최용범외 4명이 제시한 고농도 돈사폐수의 고율처리 BOD 제거 최대 값인 71~88%를 훨씬 상회하는 99.71%에 달하는 최고 수준의 처리 값을 보여주고 있다.[49)]

Table 63. Extended operation results of aerator

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ave.
Opera-tion (day)	22	18	21	21	21	21	21	25	25	21	18	19	259
Indust-rial water (㎥)	15815	11755	9530	14860	16630	17595	21055	16060	14040	10445	8360	10255	166400
Waste-water (㎥)	10380	6590	4760	9900	12280	13320	14855	12070	8515	6635	5435	6315	111055
Volume load	0.45	0.37	0.31	0.67	1.02	0.89	0.76	0.62	0.57	0.28	0.28	0.32	0.55
HRT	4.98	9.0	11.94	4.89	4.11	4.05	3.6	4.68	5.07	8.07	9.15	9.36	6.57
F/M ratio	0.06	0.06	0.04	0.08	0.13	0.12	0.09	0.09	0.08	0.03	0.04	0.04	0.07
SV	99	99	98	97	90	85	93	99	99	100	99.5	99	96.5
SVI	144	125	125	114	114	113	110	137	130	135	128	119	125
Water (℃)	20	18.2	20	24	26	30	32	33	30	25	18.3	18.7	25.4
Air-temp. (℃)	6	7	16	21	25	28	32	32	29	26	16	8	20.5
DO (mg/ℓ)	1.4	2.6	1.8	4.0	1.3	2.0	1.4	1.9	2.7	2.7	3.2	2.8	2.3
Air blowing (㎥/min)	50	50	75	100	87.5	100	100	100	100	100	75	75	84.4
C/N ratio	38	40.5	132.8	74.7	56.5	75.3	50.2	46.1	67.2	38.5	52.0	45.6	54.0
MLSS (mg/ℓ)	6968	7860	7798	8519	7627	7473	6754	7239	7606	7451	7792	8329	7618

Collection @ chosun

Table 64. BOD Volume load by each aerator

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ave.
1 Aerator	1.34	1.10	0.94	2.01	3.06	2.68	2.28	1.86	1.72	0.83	0.85	0.97	1.64
2 Aerator	0.018	0.005	0.005	0.002	0.004	0.002	0.004	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001	0.004
3 Aerator	0.011	0.003	0.003	0.001	0.003	0.001	0.003	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002

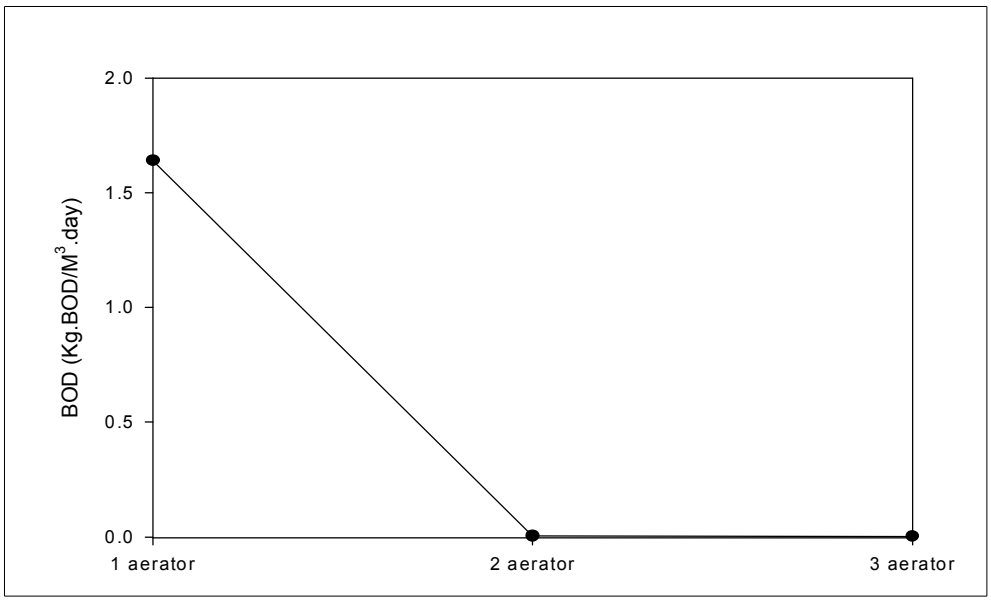

Fig. 10. Volume load by aerator.

Collection @ chosun

3. 용적부하별 처리결과[19)]

3단의 장기폭기조 중 1차 폭기조에서 총 유입 부하량의 99.71%가 분해되므로 1차 폭기조에서의 용적부하를 기준으로 하여 용적부하별 처리효율을 조사하였다.

Table 65와 같이 용적부하가 1.0kg.BOD/㎥.day 이하시의 BOD 제거율은 1차 폭기조가 99.56%, 2차 폭기조가 99.73%, 3차 폭기조가 99.77% 이었다. 용적부하가 1.0~2.0 범위일 때 BOD 제거율은 1차 폭기조가 99.73%, 2차 폭기조가 99.83%, 3차 폭기조가 99.85% 이며, 용적부하 2.0~3.0 범위시의 BOD 제거율은 1차 폭기조가 99.82%, 2차 폭기조가 99.88%, 3차 폭기조가 99.89% 이고 용적부하 3.0 이상시의 BOD 제거율은 1차 폭기조가 99.87%, 2차 폭기조가 99.89%, 3차 폭기조가 99.90% 로 나타났다.

용적부하별 처리율을 보면 용적부하가 증가할수록 BOD 제거율이 99.56%에서 99.87%로 증가하는 결과가 나타났는데 이러한 현상은 수온이 높은 하절기에 유입부하는 증가하나 미생물활성화에 의한 유기물의 생물분해력이 상승한 영향이다.

일반적으로 수온이 10℃ 상승할 때 생물분해력은 2배까지 증가하는 것으로 알려져 있다. 폭기조의 단계별 분해율을 보면 1차 폭기조와 최종 3차 폭기조간의 분해율은 0.03~0.21%의 미세한 증가폭을 보이고 있는데 활성슬러지조에서 미생물에 의한 유기물분해는 접촉 초기 1~20분 사이에 폐수중의 용해성, 콜로이드성, 부유성물질이 활성슬러지 세포에 흡착, 흡수되어 저장되므로 유입 BOD의 급격한 감소가 이루어지는 경로를 만족케 한 결과이다.

활성슬러지 Floc표면에 접촉하는 유기물은 물리적으로 접촉초기 30분 이내에 대부분 흡착이 되며, 활성슬러지 세포내에 흡수 저장된 유기물의 일부는 합성이 되어 식①,②와 같이 세포증식에 이용되고 나머지는 산화되어 에너지원으로 이용됨으로써 유기물의 처리가 이루어진다.[19)]

식 ① 유기물의 산화 (이화작용)

$$C,H,O,N,S + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \text{기타 최종산물} + \triangle H$$

② 세포물질의 합성 (동화작용)

$$C,H,O,N,S + O_2 + \triangle H \rightarrow \text{세포물질}$$

Collection @ chosun

최종적으로 유기물의 공급이 부족한 환경이 되면 미생물은 자신의 세포물질을 산화하는 내생호흡에 의한 세포물질의 산화 단계를 거침으로써 식③과 같이 유입 유기물의 최종적인 처리가 이루어지게 된다.

③ 세포물질 + O_2 → CO_2 + H_2O + NH_3 + △H

Table 65. Treatment efficiency by volume load

vol. load	BOD (mg/ℓ)				SS (mg/ℓ)				F/M Ratio			HRT (day)			BOD Treatment rate (%)		
	유입수	1 Aer	2 Aer	3 Aer	유입수	1 Aer	2 Aer	3 Aer	1 Aer	2 Aer	3 Aer	1 Aer	2 Aer	3 Aer	1 Aer	2 Aer	3 Aer
1.0 less than	1872	8.2	5.0	4.3	214	15	7	5	0.12	0.06	0.04	2.56	5.13	7.69	99.56	99.73	99.77
1.0 ~2.0	2310	6.3	3.9	3.5	176	15.1	8.9	6.4	0.21	0.10	0.07	1.74	3.48	5.22	99.73	99.83	99.85
2.0 ~3.0	3154	5.6	3.8	3.4	139	16	11	8	0.36	0.18	0.12	1.34	2.68	4.02	99.82	99.88	99.89
3.0	4182	5.6	4.4	4.2	120	15	12	9	0.46	0.23	0.15	1.32	2.44	3.66	99.87	99.89	99.90
Ave.															99.75	99.83	99.85

Collection @ chosun

제2절 F/M비 별 처리효율[17)]

1. 장기폭기조 운전조건[17)]

Table 63과 같이 장기폭기조 전체의 F/M비는 0.03~0.13 kg.BOD/kg.MLSS .day 범위로 운전이 되었다.

평균 F/M비는 0.07이나 조업일별 최대 F/M비는 2008년 5월 14일 0.22 kg.BOD/kg.MLSS.day로써 설계부하를 2.4배 초과하여 운전되었다.

Table 66. Fig. 11과 같이 장기폭기조의 조별 F/M비를 조사한 결과를 보면 1차 폭기조에서 유기물이 대부분 분해됨에 따라 최고 부하율을 나타내었고 2차, 3차 폭기조는 F/M비가 Zero에 근접한 상태로 운전되었다.

즉, 2,3차 폭기조에 증식하는 활성슬러지 미생물은 극심한 기질부족으로 인해 세포증식이 정체되었고 세포는 사멸기 상태에서 운전되었다.

과도하게 낮은 F/M비 조건이 되면 미생물의 세포합성과 자기산화가 동시에 진행되므로 MLSS농도가 감소해서 침강성은 개선되나 과도한 기질부족으로 인해 체적에 비해 체표면적이 큰 사상균의 기질섭취능력이 활성슬러지 미생물보다 크므로, 부족한 기질을 사상균이 먼저 섭취함으로써 사상균 우점에 의한 벌킹이 발생할 수 가 있다. 일반적으로 유입 유기물 농도가 10mg/ℓ이하에서는 사상균이 급증한 후 증식율은 수평상태를 유지하고, 30mg/ℓ에서는 사상균과 Floc 형성균의 증식율이 교차하여 Floc 형성균의 증식이 급속히 이루어지는 것으로 알려져 있다. 또한 낮은 F/M비에서는 자기산화에 의해 육안관측이 가능한 Fin Point Floc의 발생이 증가한다.[17)]

Table 66. F/M Ratio by aerator according to month

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
1 Aerator	0.19	0.19	0.12	0.24	0.40	0.36	0.28	0.26	0.23	0.08	0.11	0.12	0.22
2 Aerator	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3 Aerator	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Collection @ chosun

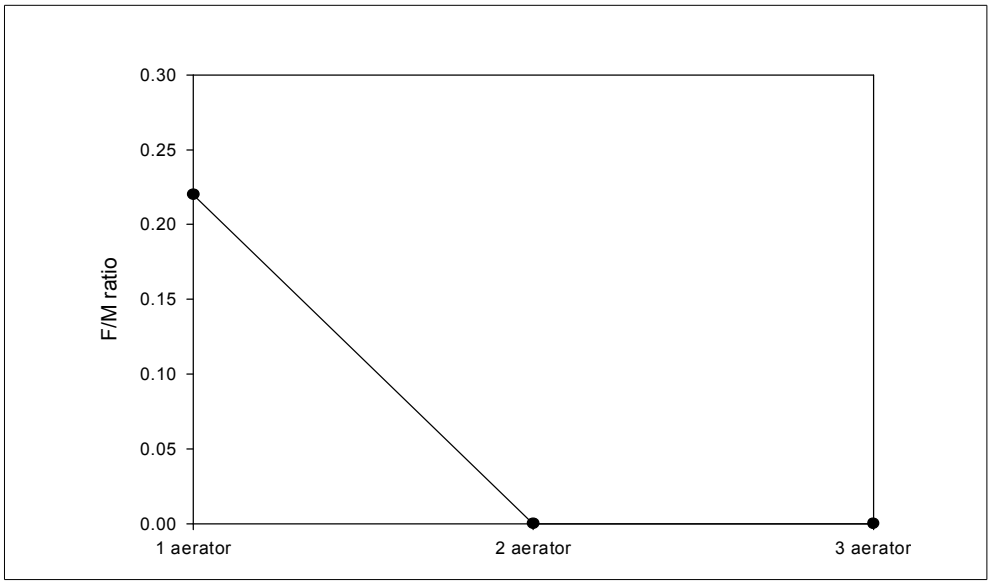

Fig. 11. F/M Ratio by aerator.

Table 67, Fig. 12와 같이 2, 3차 폭기조에서의 기질감소에 따른 MLSS 농도의 변화는 2차에서 1.0% 3차에서 0.8% 가 감소하였다.

SV_{30}은 2차에서 0.9%, 3차에서 0.5%감소하였고, SVI는 2차에서는 변화가 없으나 3차에서 0.8% 증가하는 미세한 차이를 보이고 있어 이론적 근거에 따른 Floc의 급격한 해체나 생물세포의 현저한 감소 현상은 나타나지 않는 생물안정조로써의 기능이 발휘된다고 판단된다.

Table 67. MLSS Concentration by aerator

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
1 Aerator	6881	7939	7798	8547	7885	7594	7758	7329	7674	7008	7795	8077	7690
2 Aerator	6814	7851	7779	8521	7516	7443	7430	7226	7608	6863	7810	8474	7611
3 Aerator	6832	7812	7697	8491	7483	7483	7301	7161	7526	6763	7730	8431	7551

Collection @ chosun

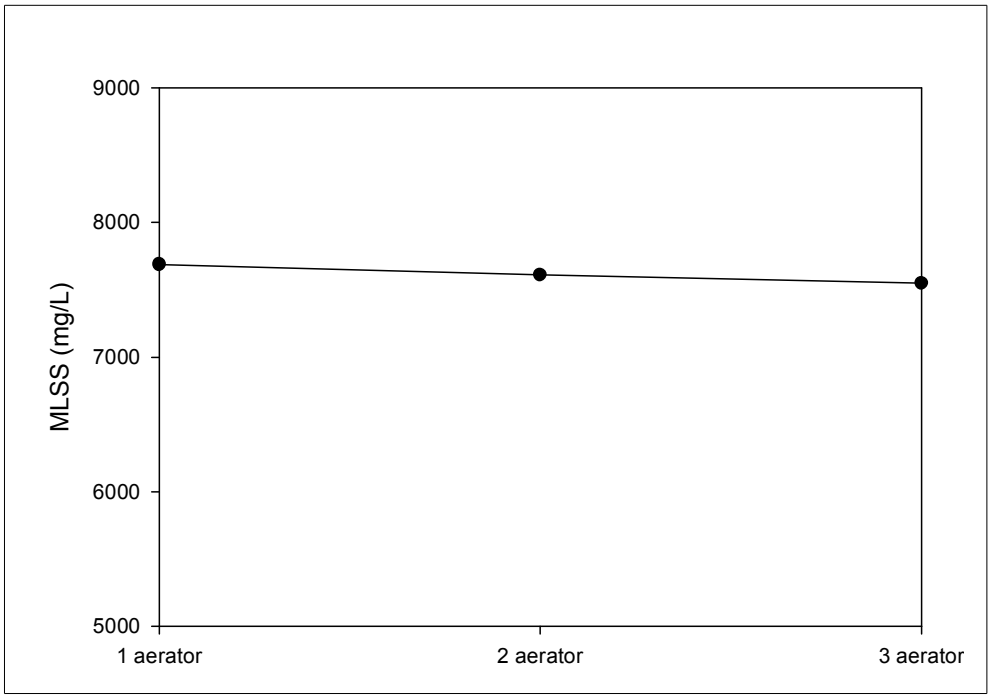

Fig. 12. MLSS Concentration by aerator.

Table 68. Fig. 13과 같이 SV_{30}은 1차 폭기조가 96.1%이고, 2차 폭기조는 95.2% 3차 폭기조는 94.8%로써 후단으로 갈수록 Floc 안정화가 진행되고 있음을 알 수 있다.

Table 68. SV_{30} by aerator according to month

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
1 Aerator	96.3	98.6	97.7	97.0	89.4	85.3	93.1	98.7	99.1	99.8	99.5	98.9	96.1
2 Aerator	95.5	98.4	97.7	96.3	85.7	81.3	92.3	98.4	99.1	99.8	99.5	98.9	95.2
3 Aerator	95.1	98.4	97.7	96.3	83.8	79.9	91.4	97.9	99.1	99.8	99.5	98.9	94.8

Collection @ chosun

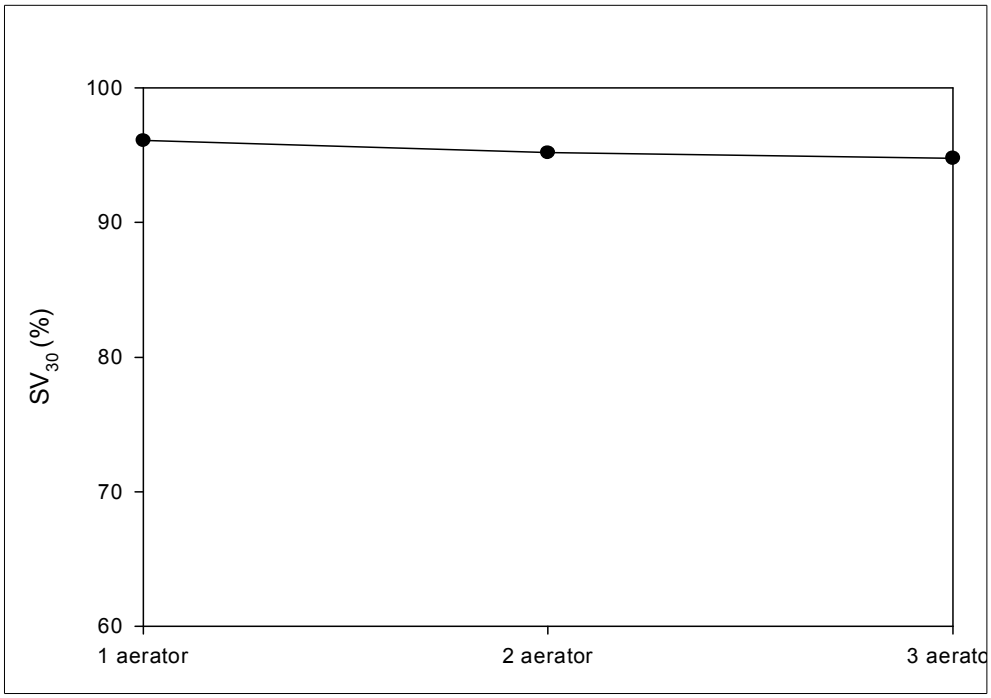

Fig. 13. SV30 by aerator according to month.

Table 69. Fig. 14와 같이 SVI값은 1,2차 폭기조 간의 변화는 없으나 3차 폭기조에서 미세한 증가가 있었지만 슬러지의 침전성 변화에는 기여하지 않는 수준이다.

Table 69. SVI by aerator according to month

month / items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	average
1 aerator	125	124	126	114	108	113	121	135	130	133	128	123	123
2 aerator	125	126	126	114	108	110	125	137	131	134	128	117	123
3 aerator	126	127	127	114	106	108	126	137	133	137	129	118	124

Collection @ chosun

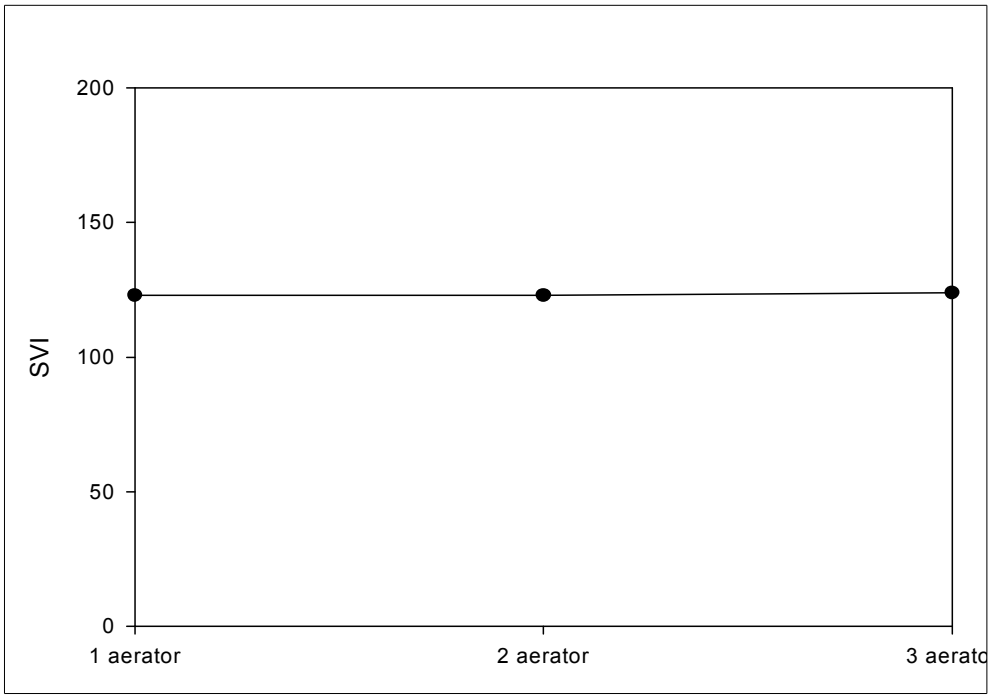

Fig. 14. SVI by aerator according to month.

2. F/M비 별 처리결과

3단의 장기폭기조 중 당 폐수가 유입하는 1차 폭기조의 미생물증식이 활발하며 대부분의 유기물질 분해가 이루어지므로 1차 폭기조의 F/M비를 기준으로 하여 F/M비별 처리효율을 조사하였다. Table 70과 같이,

F/M비가 0.04~0.20 kg.BOD/kg.MLSS.day 이하일 때 BOD 제거율은 1차 폭기조가 99.61%, 2차 폭기조가 99.76%, 3차 폭기조가 99.79% 이었다.

F/M비가 0.21~0.25 kg.BOD/kg.MLSS.day 범위시 BOD제거율은 1차 폭기조가 99.74%, 2차 폭기조가 99.85%, 3차 폭기조가 99.87% 이었다.

F/M비가 0.26~0.30 kg.BOD/kg.MLSS.day 범위시 BOD제거율은 1차 폭기조가 99.84%, 2차 폭기조가 99.90%, 3차 폭기조가 99.91% 이다.

F/M비가 0.31~0.35 kg.BOD/kg.MLSS.day 범위시 BOD제거율은 1차 폭기조가 99.79%, 2차 폭기조가 99.84%, 3차 폭기조가 99.86% 이다.

F/M비가 0.36~0.40 kg.BOD/kg.MLSS.day 범위시 BOD제거율은 1차 폭기조가

dCollection @ chosun

99.75%, 2차 폭기조가 99.81%, 3차 폭기조가 99.83% 이다.

F/M비 0.41~0.53 kg.BOD/kg.MLSS.day 범위 시 BOD제거율은 1차 폭기조가 99.88%, 2차 폭기조가 99.91%, 3차 폭기조가 99.91% 로 조사되었다.

F/M비별 처리효율을 보면 BOD 처리율과 같은 유사한 처리형태를 보이고 있다. F/M비가 0.04~0.20 일 때 1차 폭기조의 BOD처리율이 99.61%이었으나, F/M비가 증가한 0.41~0.53범위 일 때 오히려 처리율이 99.88%로 증가하였다.

1차 폭기조와 3차 폭기조 간 유기물분해율은 0.07~0.15% 범위로 미세한 증가폭을 보이고 있다.

Table 70. Treatment efficiency by F/M ratio

Vol. load	BOD(mg/ℓ)				SS(mg/ℓ)				Volume load			HRT(day)			BOD Treatment rate (%)		
	유입수	1 aer	2 aer	3 aer	유입수	1 aer	2 aer	3 aer	1 aer	2 aer	3 aer	1 aer	2 aer	3 aer	1 aer	2 aer	3 aer
0.04 ~ 0.20	1961	7.6	4.7	4.2	209	17.6	9.8	7.6	0.93	0.46	0.31	2.15	4.30	6.46	99.61	99.76	99.79
0.21 ~ 0.25	2598	6.7	3.8	3.5	176	12.6	7.5	4.3	1.45	0.72	0.48	1.82	3.64	5.46	99.74	99.85	99.87
0.26 ~ 0.30	2868	4.6	2.9	2.6	106	13	6.7	3.5	1.99	0.99	0.64	1.42	2.85	4.27	99.84	99.90	99.91
0.31 ~ 0.35	3341	7.0	5.3	4.6	131	12	9	4	1.98	0.99	0.66	1.70	3.39	5.09	99.79	99.84	99.86
0.36 ~ 0.40	2972	7.4	5.5	5.2	120	12	12	12	2.96	1.48	0.99	1.01	2.01	3.02	99.75	99.81	99.83
0.41 ~ 0.53	3714	4.3	3.5	3.2	134	15	11	9	3.13	1.57	1.04	1.29	2.57	3.86	99.88	99.91	99.91

Collection @ chosun

제3절 체류시간 별 처리효율

유기물의 생물분해를 위한 장기폭기조의 체류시간을 보면, 미국은 18~36시간을 권장하고 있고, 일본은 16~24시간을 권장하고 있다.

당 폐수처리를 위해 적용한 설계상의 HRT는 67시간이나 실제운전 체류시간은 조업일 기준으로 98시간의 장시간이 소요되었다.

장기폭기조 설계기준 값을 2.7배 초과한 과도한 설비용량은 설계시공비의 증가와 운전비용의 증가를 수반하므로 경제적인 폐수처리목표의 달성을 어렵게 한다. 그러므로 체류시간 단축을 통한 운전비의 절감과 처리효율 개선관리가 필요하다.

1. 장기폭기조 운전조건

장기폭기조의 HRT는 Table 71, Fig.15 와 같이 3.60~11.94day의 범위로 운전이 되었다. 조업일 기준 평균 HRT는 4.11 day이나, 최대 HRT는 17.64day로써 설계 HRT를 6.3배 초과하여 운전이 되고 있다.

Table 71. HRT by aerator according to month

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
1 Aerator (day)	1.66	3.0	3.98	1.63	1.37	1.35	1.2	1.56	1.69	2.69	3.05	3.12	2.19
2 Aerator (day)	3.32	6.0	7.96	3.26	2.74	2.70	2.40	3.12	3.38	5.38	6.10	6.24	4.38
3 Aerator (day)	4.98	9.0	11.94	4.89	4.11	4.05	3.60	4.68	5.07	8.02	9.15	9.35	6.57

1차 폭기조의 실제 평균 체류시간은 33시간을 유지함에 따라 장기폭기조 전체 체류시간으로 권장되는 36시간에 근접한 운전조건이다.

3단계의 장기폭기조 중 1차 폭기조의 체류시간을 기준으로 하여 조별 유기물 분해효율을 조사하였다.

Collection @ chosun

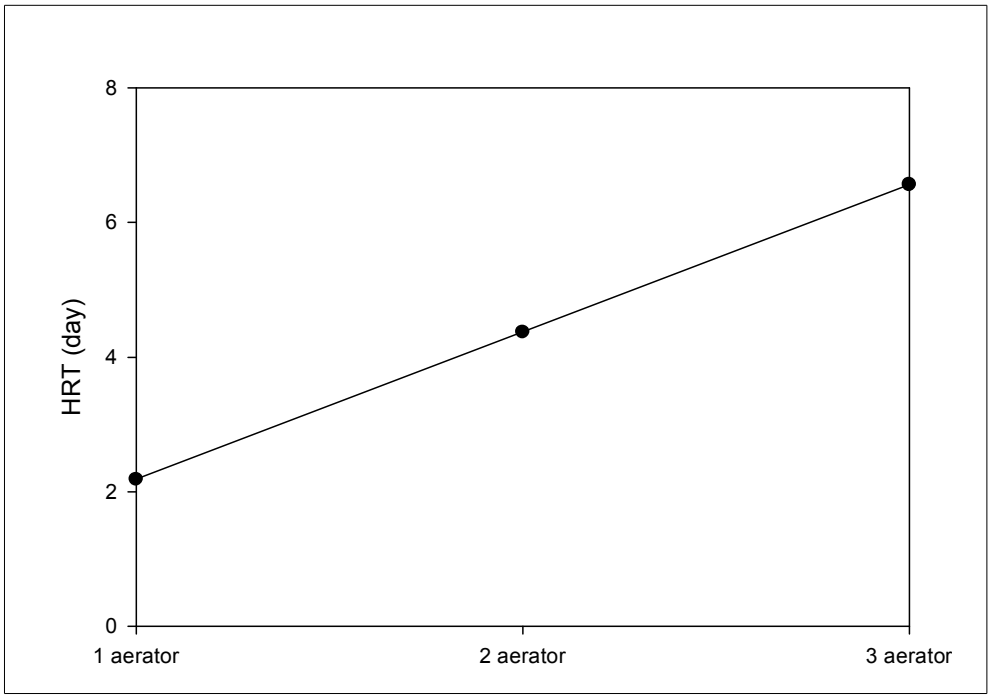

Fig. 15. HRT by aerator.

dCollection @ chosun

2. HRT 별 처리결과

Table 72와 같이 HRT가 1.0~2.0 이하시 BOD 제거율은 1차 폭기조가 99.80%, 2차 폭기조가 99.86%, 3차 폭기조가 99.87% 이었다. HRT가 2.0~3.0 이하시의 BOD 제거율은 1차 폭기조가 99.44%, 2차 폭기조가 99.74%, 3차 폭기조가 99.77% 이었고, HRT가 3.0~4.0 일 때 BOD 제거율은 1차 폭기조가 99.75%, 2차 폭기조가 99.80%, 3차 폭기조가 99.81% 이었다.

폭기조에서 체류시간별 분해율을 보면 HRT가 1~2일 때 1차 폭기조의 처리효율이 99.80%로 가장 높았고 HRT가 증가할수록 처리효율은 근소하게 감소하였다. 1차 폭기조와 3차 폭기조 간 유기물 분해율은 0.06~0.33%의 미세한 증가폭을 보이고 있다.

결론적으로 장기폭기조에서는 HRT가 길수록 폐수처리효율이 저하되는 것을 알 수가 있다.

HRT가 3.0~4.0day로 연장될수록 유기물 분해율이 낮아지는 것은 유기물 유입 초기인 30분 이내에 대부분의 유기물이 제거 되어서 2, 3폭기조에는 유입기질이 거의 없음에도 불구하고 폭기조 내 체류시간이 과도하게 늘어나는 빈부하 운전조건 때문이다. 이로 인해 2,3폭기조에서는 미생물세포의 자기산화가 발생해서 생물세포는 분산 해체하며 난분해성 물질이 대사산물로 배출된다.

Table 72. Treatment efficiency by HRT

HRT (day)	BOD (mg/ℓ)				SS (mg/ℓ)				Volume load			F/M ratio			BOD Treatment rate (%)		
	유입수	1 aer	2 aer	3 aer	유입수	1 aer	2 aer	3 aer	1 aer	2 aer	3 aer	1 aer	2 aer	3 aer	1 aer	2 aer	3 aer
1.0~2.0	2551	5.1	3.6	3.2	155	15.2	9.6	7.0	1.75	0.88	0.58	0.26	0.13	0.09	99.80	99.86	99.87
2.0~3.0	2386	13.4	6.3	5.5	252	15.8	7.9	5.5	1.02	0.51	0.34	0.17	0.08	0.05	99.44	99.74	99.77
3.0~4.0	2385	6.0	4.8	4.5	196	15.7	6.8	4.0	0.76	0.38	0.25	0.13	0.07	0.04	99.75	99.80	99.81

Collection @ chosun

제4절 DO농도 별 처리효율[19,25,26,52]

1. 장기폭기조 DO농도

Table 73, Fig. 16과 같이 2008년도 장기폭기조의 용존산소농도를 보면 1차 폭기조의 평균 DO는 0.9mg/ℓ, 2차 폭기조의 평균 DO는 2.8mg/ℓ, 3차 폭기조의 평균 DO는 3.1mg/ℓ로 운전되었다.

1차 폭기조는 DO농도가 1월과 9월은 0.3mg/ℓ, 6월은 0.2mg/ℓ로 운전되었고 아이스크림 성수기인 5, 7, 8월은 0.1mg/ℓ의 농도로 낮게 측정되었다.

Table 73. Monthly DO concentration

Items \ Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
1 aerator	0.3	1.7	1.2	3.7	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.7	0.7	1.5	0.9
2 aerator	1.6	2.9	2.0	3.7	1.25	2.8	1.9	2.6	3.1	3.7	4.3	3.4	2.8
3 aerator	2.4	3.3	2.2	3.6	2.4	3.0	2.1	3.0	3.6	3.8	4.7	3.6	3.1
return sludge	0.06	0.2	0.04	0.20	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.10	1.25	0.9	0.24

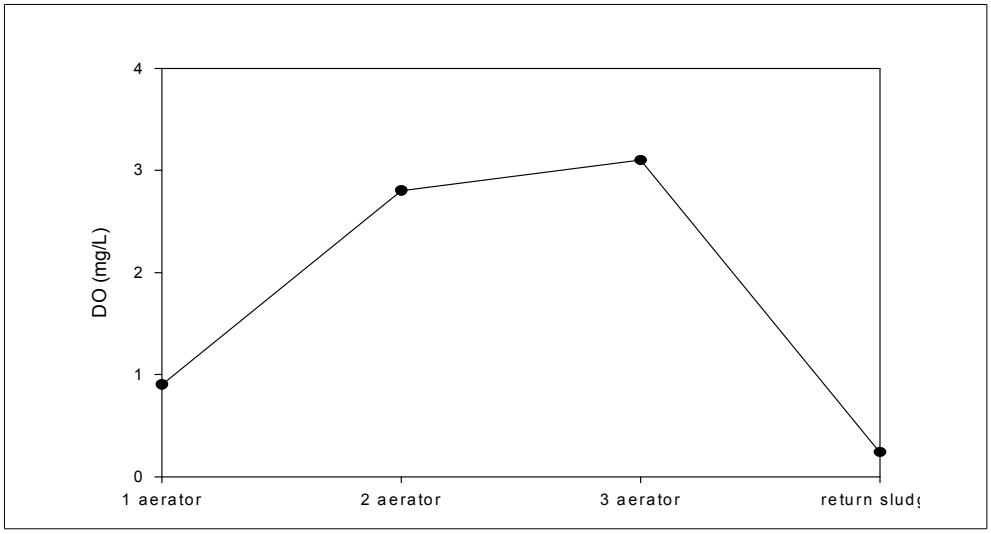

Fig. 16. DO Concentration change by aerator.

Collection @ chosun

2. DO농도 별 현상[19)]

활성슬러지조에서 유기물을 분해하는데 1.42g.O_2/g.VSS 의 산소가 요구되며, 고율 활성슬러지 처리조에서의 비산소 섭취속도는 15~25mg.O_2/g.SS.hr이고 표준 활성슬러지조에서는 4~75mg.O_2/g.SS.hr으로 알려져 있다.[19)] 활성슬러지조에서 DO농도는 일반적으로 평균 1.5~2.0mg/ℓ 범위의 유지가 필요하다. 그러나 DO농도가 2mg/ℓ이상이고 BOD부하가 높을 경우 질산화가 촉진되며, 4mg/ℓ이상에서는 유기물분해 효율의 증가율이 저조하므로 비효율적 운전조건이 된다. 그러므로 활성슬러지조에서의 DO농도는 최저 0.5mg/ℓ이상일 것이 권고되고 있다.

겨울철에는 저부하 장기체류조건으로 운전이 되므로 휴무일에는 DO농도가 최대 7~8mg/ℓ까지 증가하는 경우가 있는데 고농도 DO 조건이 지속되면 폭기조에 갑각류인 Moina가 증식한다.

Moina는 빨간색 껍질을 가진 물벼룩 형태를 갖추고 있고 산소를 좋아하므로 폭기조 수면에 얇은 적색 스컴층을 형성하며, 침전조의 수면은 붉은색을 띠게 된다. 당 폐수처리시 장기폭기조의 1차 폭기조에서 용적부하가 0.8kg BOD/㎥day 이하인 동절기에 출현이 관찰되고 있다.

3. 송기량 산정 값[19,25)]

Table 74, Fig. 17과 같이 당 폐수처리를 위한 공기의 공급량은 월평균 82 ~ 361㎥/kg.BOD의 범위이며, 평균 166.8㎥/kg·.BOD가 공급되었다. BOD 1kg을 분해하는데 필요 송기량 0.35kg/kg.SS.day를 기준으로 할 때 30~40㎥의 공기량이 필요하다.[25)] 송기된 용존산소 중 10% 정도가 BOD제거에 이용되므로 BOD 1kg제거를 위해서는 1~1.2kg의 산소가 필요한 것으로 제시되어 있다.[19)]

당 폐수의 실제처리시 평균용적부하는 설계부하를 1.6배 초과 운전되었고, 성수기 최대용적부하는 설계용적부하를 4.7배 과다하게 초과운전이 됨에 따라서 적정한 F/M비 유지가 필요하므로 MLSS 농도를 평균 7,618mg/ℓ로 높게 운전한 결과 실제 공기공급량은 평균 166.8㎥/kg.BOD으로 공급이 되었다.

공기공급량은 활성슬러지조의 권장 공급량인 40㎥/kg.BOD를 3.6배 초과 하였으나 활성슬러지조의 DO는 평균 0.9~3.1mg/ℓ범위로 측정됨에 따라 과도한

Collection @ chosun

공기공급 상태로는 규정되지 않는다.

Table 74. Amount of air supply according to time

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
Volume load (kg/day)	707.2	647.7	535.7	953.7	1542.5	1428.3	1263.6	932.9	827.0	399.0	470.5	490.7	849.9
air blowing (㎥/day)	72000	72000	108000	144000	126000	144000	144000	144000	144000	144000	108000	108000	
air (㎥/kg. BOD)	102	111	202	151	82	101	114	154	174	361	230	220	166.8

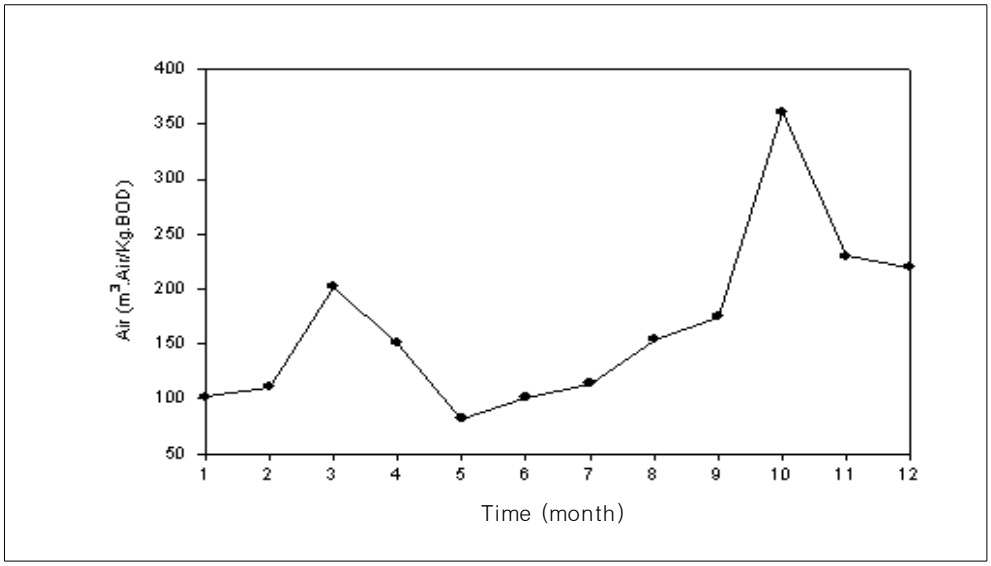

Fig. 17. Amount of air supply according to time.

송기대상은 원폐수 집수조, 1차 유량조정조, 장기폭기조, 2차 유량조정조, 방류조 등 폐수처리 전 공정에 적용되었다.

고농도 당 폐수의 적정한 처리를 위해서 하절기에 공급공기량의 확대가 요구되지만 폭기조의 용적과 멤브레인 산기관의 포기용적 검토결과 추가적 공기의 공급은 현실적으로 불가능하므로 측정된 166.8㎥/kg.BOD의 송기량을 당

Collection @ chosun

폐수처리 설계시 송기량 산정의 기준 값으로 인용이 가능하다.

장기폭기조의 높은 산소요구량을 충족하기 위해서 산소 전달율이 23~25%로 높은 멤브레인 산기관 212개를 설치하였다. DO 소비량이 많은 1차 폭기조의 DO를 상승시키기 위한 방법은 1차 폭기조에 공급되는 공기배관에 순산소탱크를 연결한 후 기존 송기량에 산소를 추가 공급하는 방법의 검토가 필요하다.

4. DO농도 별 BOD 처리결과

Table 73과 같이 1차 처리수가 유입하는 1차 폭기조의 DO 농도가 최저농도로 측정이 되었고 후단으로 갈수록 DO 농도는 상승하였다. 장기폭기조에서 유입 BOD 물질의 분해는 1차 폭기조에서 전체 분해유기물의 99.71%가 처리되었고 후단에서 0.13%의 미세한 추가 분해가 이루어짐에 따라 Table 75와 같이 1차 폭기조의 DO 농도별 BOD 분해율을 비교 분석하였다. DO 농도를 0.1~0.5mg/ℓ로 운전시 BOD 평균제거율은 99.84%이었고, 0.5~1.0mg/ℓ로 운전시 BOD 평균제거율은 99.92% 이었으며, 1.0~2.0mg/ℓ로 운전시는 BOD 평균제거율이 99.76% 이었다.DO농도를 2.0~3.7mg/ℓ 범위로 운전 할 경우 BOD 제거율은 최대인 99.93%로 조사되었는데, DO 농도가 0.5mg/ℓ 이하로 운전할 때보다 BOD 제거율은 0.09% 미세한 증가에 그쳤다. 즉 BOD 제거율은 폭기조의 충분한 혼합 접촉이 우선이며 DO농도가 0.1mg/ℓ이상이면 유기물 분해가 충분하다.

Table 75. BOD Treatment rate by DO concentration

Classification / DO Concentration	BOD Concentration (mg/ℓ)		Treatment rate (%)
	Input water	Output water	
0.1~0.5(mg/ℓ)	2863	4.7	99.84
0.5~1.0(mg/ℓ)	2231	1.8	99.92
1.0~2.0(mg/ℓ)	2915	6.9	99.76 ·
2.0~3.7(mg/ℓ)	2890	1.9	99.93

dCollection @ chosun

5. 최저 DO 농도값[19,26,52]

활성슬러지 Floc 중심부에서 측정한 DO값이 0.1mg/ℓ이상에서는 유기물분해가 충분히 이루어진다고 알려져 있다.[19] 당 폐수의 하절기 평균 수온은 26~33℃이고 최대 35℃까지 증가하는데 과부하 용적부하와 고농도 MLSS조건에서 충분한 DO 공급을 위한 송기량을 100㎥/min을 늘림으로써 폭기조 내 혼합강도는 크게 증가하게 된다. 1983. 정재기외 3명은 "생물학적폐수처리에 미치는 혼합강도의 영향"에서 Blower 송기에 의해 혼합강도가 증가할수록 100~300㎛ 범위의 작은 사이즈 Floc수가 점차 증가한다고 보고하였다.[26]

송기량이 700ℓ/hr인 경우에 Floc 입경분포는 100~650㎛ 범위이고 송기량이 1,540ℓ/hr로 증가할 때 Floc 입경은 50~400㎛에 대부분 분포함으로써 작은 입경의 Floc수가 증가한다고 보고하였다. 슬러지 Floc의 입경이 클수록 저항성 때문에 Floc 내부로의 산소공급은 감소하게 된다.

당 폐수처리 폭기조에 공기량의 과량 공급으로 공기의 유속이 빨라지면 혼합강도가 커져서 Floc은 미세하게 분산 해체되므로 Floc 내부까지 산소공급이 용이해지게 된다.

슬러지 입경이 400~500㎛ 범위까지는 Floc의 중심부에 산소공급이 이루어진다. 혼합강도 증가에 의해 Floc은 미세한 분산상태가 되고 폭기조 내 최저 DO 농도가 0.1mg/ℓ로 측정될 경우 SV_{30} 측정용 실린더에서 6시간 정치 후 침전된 슬러지 층의 DO 농도를 측정한 값을 보면 0.02mg/ℓ가 유지 되었다. 이러한 현상은 하절기에도 분산된 미세 활성슬러지 Floc 중심부에 용존산소의 공급이 이루어지고 있음을 의미한다.[52]

그러므로 하절기 과부하 조건에서 과량의 공기공급시 폭기조의 DO 농도가 0.1mg/ℓ농도로 측정이 될 경우에라도 활성슬러지 미생물의 유기물 분해력은 설계 값을 초과하는 양호한 처리상태를 보여주게 된다. 다만 DO농도가 0.1mg/ℓ로 측정될 때 폭기조는 24시간 연속적으로 송기하여 충분한 혼합 상태가 유지되는 조건이 전제되어야 한다.

Collection @ chosun

제5절 수온별 처리효율[17,19,27,28]

1. 적정 요구 수온[17,27]

활성슬러지조에서 수온이 10℃ 상승 할 경우 유기물 분해속도는 1.58배 증가하는 것으로 알려져 있다.[27] 폭기조의 수온이 상승하면 폭기조 혼합액의 교반이나 침전성이 개선되고 물리· 화학적 반응속도가 증가한다. 활성슬러지 공법은 중온미생물을 증식하여 유기물을 제거하게 되므로 15~35℃범위의 수온유지가 필요하다. 수온이 10℃이하로 저하하거나 35℃이상으로 상승하면 미생물의 활성저하로 처리수질의 악화현상이 발생하게 된다.

저부하 조건에서는 동절기에 폭기조 수온이 7℃이하로 저하될 경우 정상적인 처리는 가능하지만 활성슬러지의 호흡활성은 14℃이하 일 때 급격히 떨어지므로 고농도 당 폐수처리시는 방류수질이 악화된다.

실제 당 폐수처리시는 활성슬러지조의 수온이 15℃ 이하이고 용적부하가 0.8 이상일 경우 처리수질의 악화가 관찰되고 있다. 하절기에는 폭기조 수온이 35℃까지 상승하는데 기상조건에 따라 최대 37℃까지 상승하기도 한다.

폭기조 수온이 37℃까지 상승하게 되면 활성슬러지 미생물인 중온세균의 세포구성 물질인 단백질의 변성이 일어나 분해력이 떨어지며 원생동물은 사멸하게 된다.

고온조건에서는 고온세균의 증식속도가 너무 빠르고 점성이 감소하므로 단단한 Floc 형성이 안 되며 분산상태의 Floc이 증가하므로 폭기조 내 미분해 유기물에 의한 미분해 거품이 발생하여 처리수질이 악화하게 된다.[17]

일반적으로 활성슬러지 미생물은 저온에 대한 온도 저항성은 크나 고온에서는 즉시 저해현상이 발생하며 중온균도 65℃조건에서 수분만에 사멸하는 특성을 가진다.

광주, 전남지역에서 동절기에 상부가 개방된 노출형 활성슬러지조의 수온은 7~8℃까지 하강하는 것으로 조사되고 있다.

이러한 저온조건에서는 고농도 당 폐수의 적정한 처리효율 유지가 곤란하므로 폭기조 내부에 스팀배관을 설치하거나 비닐보온시설 등의 설치가 필수적으로 요구 된다.

dCollection @ chosun

당 폐수를 처리하는 지하매설형 활성슬러지조와 1차 처리집수조의 상부에 수면으로부터 2~3m높이 규모의 폐쇄형 비닐하우스를 설치 할 경우 동절기에도 1차 처리 집수조와 활성슬러지조의 수온이 공통적으로 17~18℃ 범위로 유지 되고 있다. 폭기조 상부에는 폭기조에서 증발한 수분과 배출된 CO_2 가스 브로아 송기에 의한 잉여공기가 혼합되어 18~32℃ 범위의 온열공기 완충지대가 형성되므로 온도부하에 의한 활성슬러지 미생물의 원활한 증식 방해요인을 차단 할 수가 있다. 폭기조의 저온현상에 의한 수질악화요인을 해소하기 위해서는 보온시설의 설치방안과 MLSS농도를 30~50% 증식하여 감소한 단위 생물당의 유기물 분해 능력을 보완하는 방법을 강구해야 한다.

2. 수온 별 BOD 처리결과

Table 76과 같이 당 폐수처리 공정인 장기폭기조의 조별 수온은 17.3~33.2℃ 범위로 측정되었으며, 년 평균 수온은 25.0℃를 유지함으로써 활성슬러지 미생물의 유기물 분해 능력을 최상의 상태로 유지가 가능하였다.

동절기도 폭기조와 1차 처리수조의 전체 보온시설을 설치하여 1월 중에도 최저 17.3℃ 이상의 수온을 유지 하였고, 하절기에는 폭기조 상부에 3중 차광 망을 설치해서 고온의 직사광선이 폭기조 수면에 직접 접촉치 않도록 관리하였다. 하절기 폭기조의 월평균 최고수온은 8월 중으로 33.2℃를 유지하여 미생물세포의 단백질 변성에 의한 오염물질 분해능력 감소현상이 발생하지 않았다. 폭기조의 각 단계별 수온변화는 0.1℃범위로 미세하였다.

Table 76. Water temperature by aerator (℃)

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
1 Aerator	17.3	18.6	21.5	24.1	29.0	30.8	32.8	33.0	28.9	26.1	20.1	17.9	25.0
2 Aerator	18.0	18.6	21.7	24.2	28.7	30.9	32.8	33.2	28.9	25.9	19.8	18.0	25.1
3 Aerator	18.0	18.7	21.6	24.2	28.4	30.5	32.7	32.7	28.7	25.4	19.5	17.9	24.9
Return sludge	17.8	18.3	21.4	24.0	28.2	31.1	32.6	32.3	28.5	25.2	19.3	17.5	24.7

Collection @ chosun

Table 77, Fig. 18과 같이 폭기조의 수온을 3단계로 구분하여 BOD 제거율을 조사한 결과, 수온이 17~22℃ 범위에서의 BOD 제거율은 99.71%, 수온 24~30℃ 범위시 BOD 제거율은 99.93%, 수온 30~34℃ 범위에서 BOD 제거율은 99.91%로 나타났는데 10℃의 수온상승시 BOD 제거율은 0.21% 증가한 결과가 나타났다.

Table 77. BOD Treatment rate by temperature

Water temp. (℃)	BOD Concentration (mg/ℓ)		Treatment rate (%)	Remark
	Input water	Output water		
17~22℃	2691	7.7	99.71	
24~30℃	2892	2.1	99.93	
30~34℃	2750	2.4	99.91	

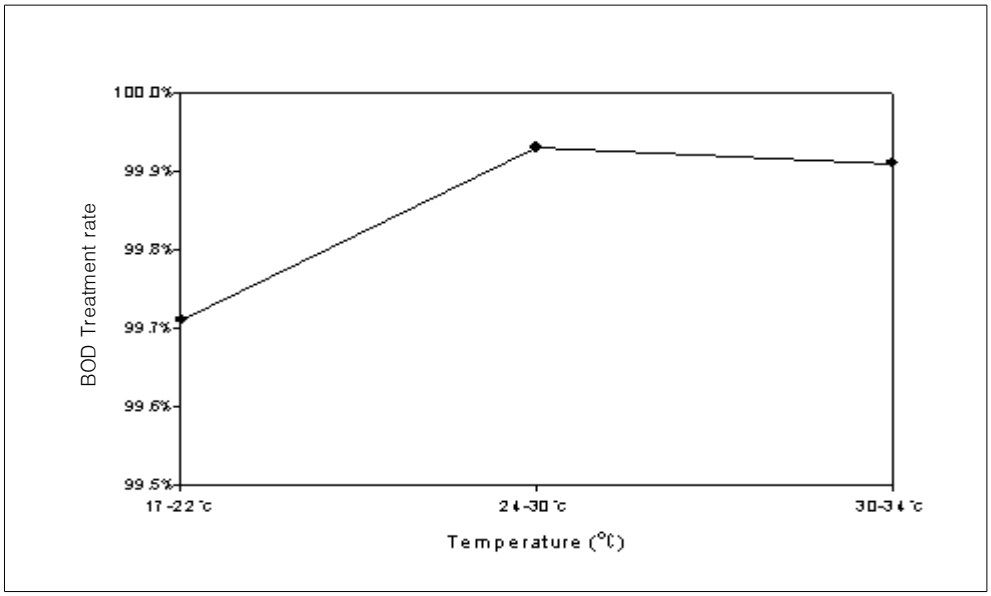

Fig. 18. BOD Treatment rate by water temperature.

Collection @ chosun

수온 상승폭에 비해 BOD 처리율 증가가 낮은 것은 수온이 상승하는 하절기에 폭기조 전체의 용적부하가 평균부하 0.55보다 1.44배 높은 0.79kg.BOD/㎥.day의 고부하 유입에 따른 영향으로 판단된다. 결론적으로 당 폐수의 목적 처리효율을 달성하기 위해서 장기폭기조의 수온 유지 값은 17~34℃가 요구된다.

3. 당 폐수의 저 수온처리[19,28)]

2006.12 장기폭기조 전체를 비닐 보온 처리하였으나 1차 처리집수조는 보온처리를 하지 않은 관계로 장기폭기조 유입수의 수온은 8~12℃로 저하하였다. 이로 인해 장기폭기조의 수온도 15℃ 로 낮아져서 유기물 분해율이 감소하였다.

2006.12.11 폭설로 장기폭기조의 보온시설이 손상되어 영하의 외기 접촉으로 폭기조 수온은 11℃로 떨어졌고, 2007.1.10 보온시설의 복구 작업으로 폭기조 수온상승을 유도하였다.

Table 78, Fig. 19, 20과 같이 폭기조의 수온이 15℃를 유지할 경우 COD_{Mn}의 처리효율은 98.87%가 유지 되었으나 수온이 11℃로 낮아짐에 따라 COD 제거율은 95.31%까지 떨어졌으며, 방류수 COD 평균 농도가 113mg/ℓ로 급속히 악화되어 배출허용기준 130mg/ℓ에 근접하였다.

12월 13일 수온이 13℃이하로 저하 된 이후 30일 만인 1월 12일 방류수는 147mg/ℓ에 도달하여 배출허용기준을 초과하기 시작하였고, 1월 21일까지 배출허용기준을 연속 초과하여 171mg/ℓ에 도달하였다. 보온시설 복구로 폭기조 온도가 15℃로 상승한 뒤 수질이 개선되기 시작하여 9일 후인 1월 30일에 정상수질로 회복 되었다.

폭기조의 저수온에 의한 수질 악화문제를 개선하기 위한 조치는 1차 유량조정조와 폭기조 보온시설의 복구에 한정되었고, 수온상승에 따른 활성슬러지 미생물의 분해력 개선으로 수온하강 후 45일 만에 정상적인 처리효율인 98.14% 범위로 방류수질이 안정되었다.

저수온 조건에서의 당 폐수처리효과의 조사결과 저온에 대한 미생물의 강한 온도 저항성이 입증되었다.[19)]

dCollection @ chosun

동절기에 폭기조 수온이 4℃하강하여 11℃로 떨어졌고 외부기온은 영하를 유지하였으며, 폭기조 유입수의 온도가 10℃의 조건일 때 1주일간의 저항력이 유지되는 현상을 알 수가 있다.

당 폐수처리 시 저수온 조건에서의 수질악화에는 약 35일이 소요되나 수온 회복 후 수질개선기간은 10~15일이 소요되는 결과를 볼 때 활성슬러지 미생물의 저온저항성은 강하고 고온적응성은 빠른 특징이 있음을 알 수가 있다.[28)]

Table 78. Treatment rate in low temperatures

Month / Classification	Water temperature (℃)	Air temperature (℃)	Concentration (mg/ℓ·COD)		Treatment rate (%)
			Input water	Output water	
06.12.5	15	-1~7	1945	20	98.97
12.10	15	-2~2	1955	24	98.77
12.15	12	-2~4	1690	51	96.98
12.20	12	-5~0	1965	45	97.71
12.30	11	-6~3	2130	50	97.65
07.1.5	11	-3~1	2434	63	97.41
1.10	11	-2~3	2410	113	95.31
1.15	14	5~9	1963	171	91.34
1.20	15	3~11	2000	168	91.60
1.25	15	5~12	2134	112	94.75
1.30	15	5~11	2315	43	98.14

Collection @ chosun

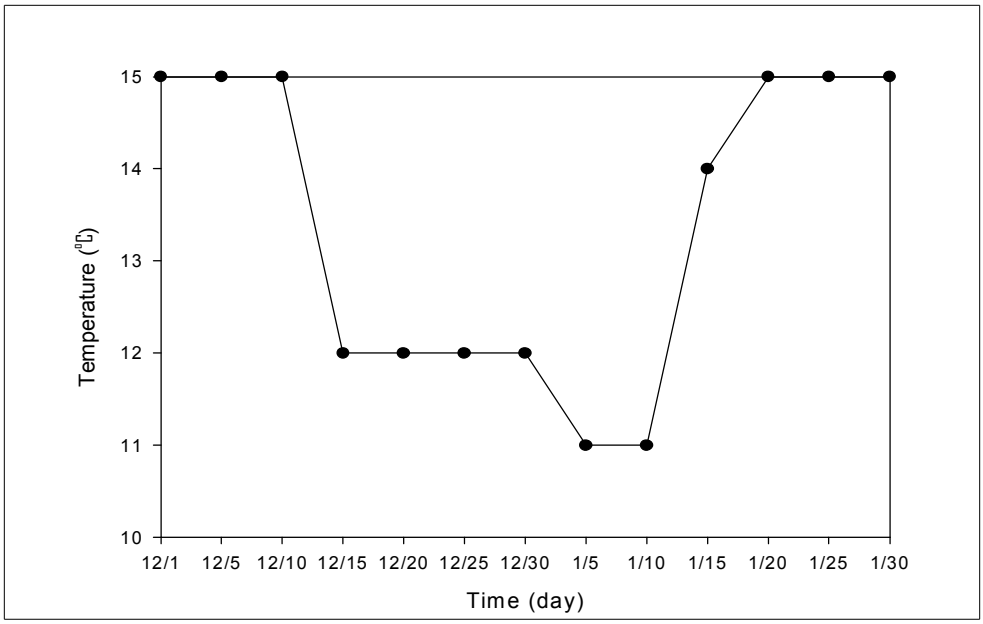

Fig. 19. Water temperature changes.

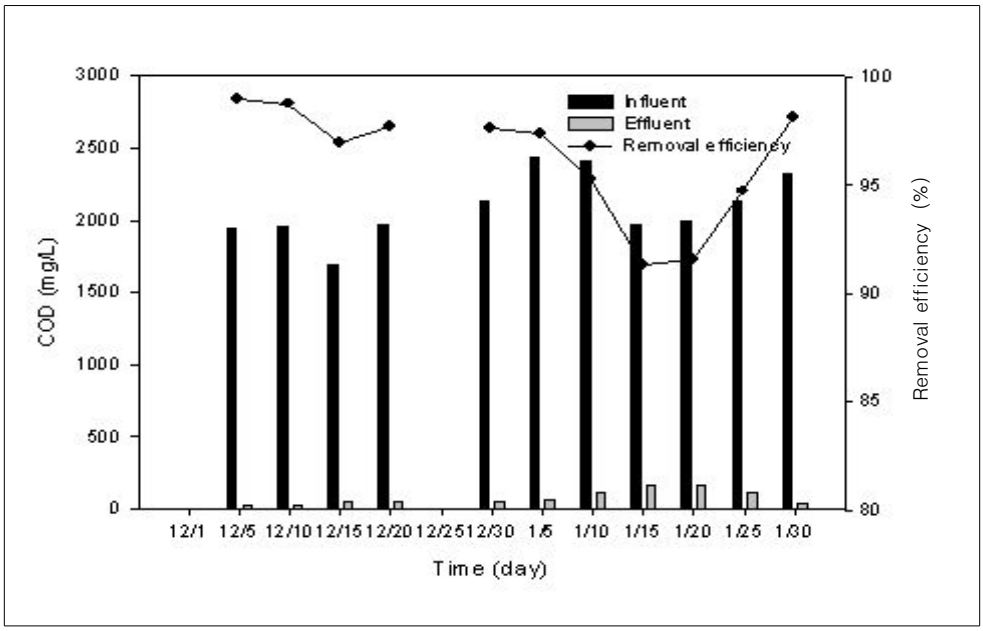

Fig. 20. Treatment rate in low temperatures.

dCollection @ chosun

제6절 유기산발효 처리효율[19,23,29]

1. 유량조정조 운전[19,23,29]

아이스크림 제조 시 발생하는 고농도 폐수는 당이 주성분인데 원수 집수조나 화학적처리 후의 유량조정조에서는 DO 공급이 부족한 혐기성상태가 되므로 효모가 증식하여 유기산발효가 진행된다.

1차 처리수 집수조인 유량조정조는 유량의 균질화를 위해 Blower 송기를 하여 혼합상태를 개선하는데 송기에 의한 폭기시 효모가 우점증식을 하고 증식한 효모가 당을 유기산으로 분해 할 때 발생하는 에너지를 이용하여 증식한다.

유량조정조에서 유기산이 과량 생성되면 pH가 4.0 범위까지 낮아지며 생물분해조에 투입하기 위해서 유량조정조에 NaOH를 직접 첨가하여 중화처리 할 경우 유기산 생성이 방해를 받게 되므로 유기산 발효과정에서의 BOD 소비가 감소된다.

당류는 세포원형질속의 단백질, 지질, 핵산 등을 합성하는 물질이며, 원형질의 활동에너지원이 되는데 다당류는 생물체 세포막을 구성하는 물질로써 세포내에 에너지를 저장하고 미생물 세포를 보호하는 기능을 한다.

혐기성조건에서 유기산발효 시 1차 가수분해가 되는데 입자상물질은 발효박테리아에 의해 용해성물질로 전환이 된다. 지방은 지방산으로 분해되며 단백질은 아미노산으로 분해가 된다. 이때 생성된 지방산은 유기산이므로 악취를 발생시킨다. 개미산, 유산, 프로피온산은 강한 악취를 발생하고 부틸산, 발레르산은 약한 악취를 발생한다.[23]

2차 산 발효단계에서는 유기산이 생성되며 아미노산, 당류, 일부지방산이 H_2, CO, Formate, 메탄올, 메틸아민, 아세테이트 등을 생성하게 된다.

3차 CH_4 생성단계에서 메탄균은 수소, CO, 개미산, 초산, 메탄올을 기질로 이용하여 CH_4을 생성한다. 혐기성 조건에서 생성되는 CH_4 가스의 70%는 초산을 기질로 한 것이며 나머지 생성분은 CO가 H_2를 환원시 생성되는 것으로 알려져 있다.[19]

혐기성조건에서 효모는 고농도 탄수화물 존재 시 증식이 활발하나 침전성

Collection @ chosun

이 나쁘고 벌킹을 일으키는 원인이 되기도 한다.

효모는 비광합성이고 호기성이며 용해성 먹이를 섭취한다. 또한 비운동성이므로 폭기 시 활동성증가로 증식은 활발해지며 당을 발효하여서 에너지를 생산한다.

고농도 당 폐수는 활성슬러지조로 직접 유입 시 난분해가 되므로 활성슬러지조 유입 전 단계에서 효모를 이용한 유기산 발효공정을 적용함으로써 생물처리율을 높일 수가 있다.

아이스크림 당 폐수를 Pilot-plant 규모에 적용하여 효모 처리한 "1996, 정경훈외 4명의 곰팡이와 활성슬러지를 이용한 전분 및 당 폐수의 처리"에 의하면 COD 1,010mg/ℓ의 당 폐수를 곰팡이조에 유입한 후 HRT 12시간 경과 시 유입 COD의 최대 제거율이 82%인 결과가 보고되었다.[29] 이때 유출수의 COD 농도는 192mg/ℓ이었다. 곰팡이조 유출수를 활성슬러지조에 유입처리 시 COD 총 제거율은 94%이었고 방류 COD는 60.6mg/ℓ로 배출된 것으로 볼 때 활성슬러지조의 운전효율이 낮았음을 예측 할 수가 있다.

2. 유기산발효 처리결과

Table 79. Fig. 21과 같이 화학적 응집 및 부상분리 후 상등수의 유량조정조 유입지점과 유량조정조에서 균질화 된 후 장기폭기조로 유입되는 지점에서 각기 시료를 채취하여 유량조정조에서의 유기산 발효에 의한 BOD 처리율을 조사하였다.

유량조정조의 최대용적은 450㎥이고 유효용적은 350㎥이나 실제 가동용적은 250㎥이다. 유량조정조 내 산술적 유기산발효 체류시간은 조업일 기준으로 평균 14.0시간이나 실제 체류시간은 최소 4시간 이상의 조건으로 운전되고 있다. 유량조정조 체류시간이 4시간 이상이며, 수온이 20℃ 이상일 때 유기산발효가 활발하게 진행되어 PH는 4.0 까지 산성화 되고 있는 것이 조사되었다.

가압부상 후 유량조정조에 유입되는 폐수의 pH는 6~6.5 범위이며, 유기산발효 후 장기폭기조에 유입하는 폐수의 pH는 평균 5.0~5.3 범위이다.

유량조정조에서 유기산 발효율이 12.47%로 저조한 것은 운전자별로 중화용

dCollection @ chosun

NaOH 첨가기준이나 첨가시기가 일정하지 않았고, 유량조정조에 NaOH를 직접 첨가하여 pH를 5.0이상으로 상승케 함으로써 효모의 활동이 둔화된 영향이다.

Table 79. Fermentation rate of organic acids

Classification / Month	Source wastewater (mg/ℓ.BOD)	Dissolved air flotation tank (mg/ℓ.BOD)	Wastewater tank (mg/ℓ.BOD)	Organic acid fermentation rate (%)
1	4251	2523	2112	16.29
2	4452	3489	2846	18.43
3	7034	3891	3489	10.33
4	4354	3729	2890	22.50
5	6399	4314	3894	9.74
6	4753	3488	3218	7.74
7	4004	2782	2637	5.21
8	3527	2642	2396	9.31
9	4057	3140	2921	6.97
10	3297	2343	1864	20.44
11	4523	3113	2597	16.58
12	5889	2560	2409	5.90
Average	4712	3168	2773	
Treatment rate (%)		32.77	12.47	12.47

하절기인 5~9월 사이에 유기산발효율이 저조한 원인은 유입폐수량 증가로 유량조정조 내 체류시간이 감소하였고, 장기폭기조가 과부하 조건에서 운전이 되므로 pH 충격 부하를 해소하기 위해 유량조정조 유출수 pH 중화범위를 6.0~6.5로 유지하도록 NaOH 첨가량을 늘린 결과이다.

Collection @ chosun

4월은 유기산발효에 의한 BOD 감소율이 22.50%로 최대효율을 나타내고 있음에 따라 유량조정조의 체류시간과 pH의 적정관리 시는 20% 이상의 BOD 제거효과 달성이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 유기산 발효가 활발하게 진행될 경우에는 악취의 배출이 증가한다.

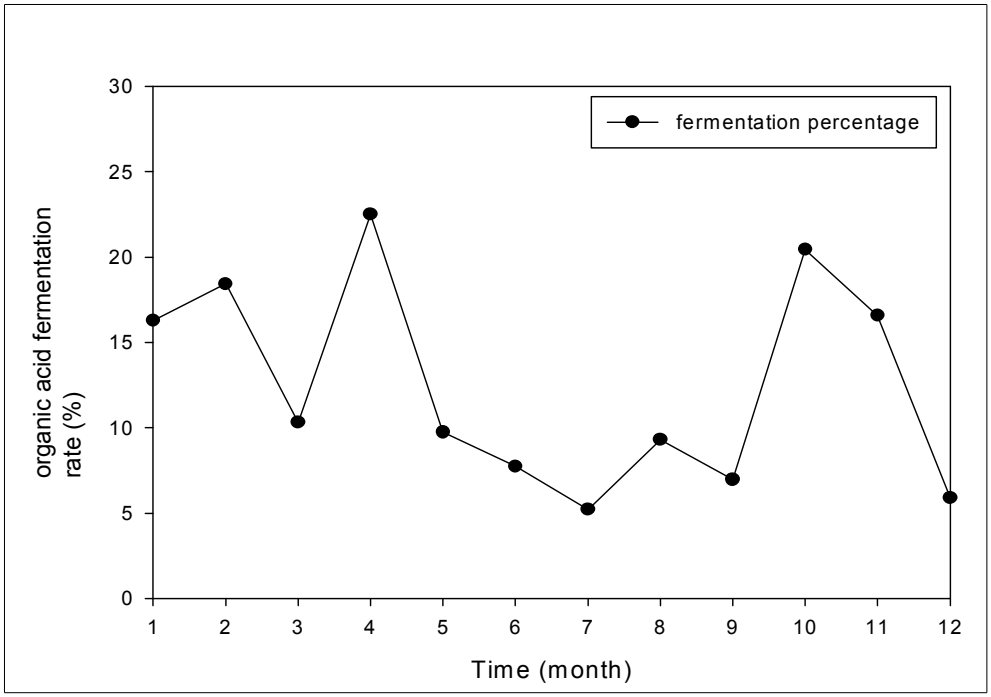

Fig. 21. Rate of organic acid fermentation.

Collection @ chosun

제7절 N, P 첨가효율[19,20,23,30,31~33,50,54)

1. N, P요구량[19,20,30,50)

활성슬러지 미생물은 $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$의 분자식을 가지므로 분자량은 1374g이고, 미생물 분자 중 N비는 168/1374로 0.122, P는 31/1374로 0.023 이다.

활성슬러지 미생물의 증식계수는 0.5이고, 호기성 탈질세포 중에서 합성된 세포 속에 잔류하는 N은 건조중량으로 12.3%이며, 내생호흡단계의 세포 속에 잔류하는 질소는 9.7%를 점유하므로 9.7% × 0.5 = 4.85의 N가 필요함에 따라 BOD:N=100:4.85의 성립근거가 된다.[19)].[30)]

P의 요구량은 1.0kg/100kg.BOD이며 최소임계량은 0.6kg/100kg.BOD로 제시되어 있음에 따라 BOD:N:P=100:5:1의 공식이 성립된다.

N, P공급량은 방류수 중의 T-N 농도가 0.1mg/ℓ이상, T-P 농도는 0.2mg/ℓ 이상으로 측정될 경우에는 폭기조에 N, P의 공급량이 충분한 조건으로 판정되므로 추가적인 N, P의 공급은 불필요하다.[50)]

인 제거 미생물은 폐수 중의 인을 과잉섭취 하는 특성이 있으나 탈질균은 질소를 과잉 섭취하지 않으므로 N의 과량투입을 억제해야 한다. 폐수중의 질소는 미생물 균체 밖에서는 불용성화합물을 형성하여 침전하지 않기 때문에 응집제의 첨가에 의한 화학적 처리효율이 저조하다.[20)]

N, P의 공급방식은 관례적으로 1일 첨가량을 1회 동안에 투입하고 있는데 이러한 첨가방식은 활성슬러지조 내의 N,P 총 요구량을 산술적으로는 만족하게 된다. 활성슬러지조에 투입된 유기물 등은 투입초기 30분 이내에는 과잉공급 상태가 되지만 대부분 생물흡착이 되므로 질소 투입직후 폭기조 DO 농도를 측정할 경우 정상 농도보다 30~50% DO가 감소하는 현상이 나타난다. 폭기조에 투입한 질소는 암모니아로 전환되는 질산화 반응에서 1mg의 암모니아가 4.6mg의 산소를 소비한다.

N, P 투입 후 2~3시간이 지나면 N, P가 부족해지는 현상이 나타나는데 이러한 현상이 반복될 경우에 영양염류 부족분의 섭취를 위한 미생물 개체간의 경쟁이 발생하여 표면적이 넓고 미량 영양분 섭취능력이 큰 사상체가 우점 증식하므로 활성슬러지 Floc 형성균의 성장은 둔화된다.[50)]

Collection @ chosun

이에 따라 유기물분해가 저하되고 미생물의 점액분비는 감소하며 미분해 거품이 발생하여 처리수질을 악화시키게 된다. 그러므로 N, P의 투입지점을 유량조정조로 변경 첨가하여 N, P농도의 균질화 후 조업시간 중에 연속 공급하는 방안의 검토가 요구된다.

방류수중의 T-N 농도가 0.6mg/ℓ T-P 농도가 0.025mg/ℓ이상이 되면 식물성 조류체내에 함유된 클로로피아가 과다 증식하여 부영양화를 일으키는 것으로 알려져 있다.

2. 탈질반응[23,30)]

폐수 중에 잔류하는 T-N의 조성은 유기성 질소인 단백질, 아미노산 , 유기화합물과, 산화 후 생성물인 무기성 질소인 NH_3-N, NO_2-N, NO_3-N 등으로 되어 있다.

(1) 질산화과정[23.30)]

질산화 과정의 1단계는 탄소계 유기물을 분해하는 타가 영양생물이 탄소계 유기물을 분해하면서 산소량을 소비하고 DO 농도가 3~4mg/ℓ가 될 때 까지 질산화가 진행이 되므로 혼합액의 pH가 저하한다.

2단계는 탄소계 유기물이 소진됨에 따라 산소소비량이 감소하므로 DO 농도는 1mg/ℓ로 운전이 필요하다. 질산화 반응의 최적온도는 28~32℃이며 5℃ 이하에서는 질산화가 정지된다.[30)] 폭기조 수온이 35℃ 이상이 되면 미생물 세포구성물질인 단백질 변성이 발생하여 질산화가 둔화된다.

폭기조의 DO 농도가 0.5mg/ℓ 이하 또는 pH 5 이하가 되면 질산화가 정지되는데 질산화 반응에 적정한 pH 범위는 7.2~8.0 이다. 질산화균의 증식속도는 BOD 분해 미생물의 1/10~1/20 정도로 느리며 환경에 민감하므로 유기물의 산화와 질산화반응을 동시에 진행하기 위해서는 SRT가 6일 이상 요구된다. 다만 고부하 운전조건일 때는 유기물의 산화속도가 증가하므로 SRT가 짧아도 가능하다.[30)]

폐수중의 암모니아성 질소는 세포합성과 질산화에 쉽게 이용된다. 유기성 질소는 용해성과 부유성 상태로 존재하며 완전한 생물분해가 이루어지지 않

Collection @ chosun

고 잔류하게 되고 용해성 유기질소의 분해가 부유성 질소보다 용이하다. 일부 분해가 불가능한 부유성 질소는 활성슬러지 플럭에 흡착되거나 방류수로 유출이 되어 T-N 농도를 증가시킨다.

용해성, 부유성 질소성분은 미생물 증식에 의해 분해되는데 질소성분은 즉시 암모늄으로 전환되며 요소는 탄산암모늄 형태로 전환이 된 다음 질산화가 진행된다. 도시하수중의 질소형태는 유기질소 형태가 60%이고 암모늄 형태가 40%이다.[23)]

폐수 중에 용해된 유기질소는 자유암모니아와 생분해가능 용해성 유기질소와 부유성 유기질소, 생분해가 불가능한 용해성 유기질소와 부유성 유기질소의 형태를 갖는다. 생분해가 불가능한 질소는 유입하수의 T-N 중에 3% 정도인 것으로 알려져 있다.

(2) 탈질과정[23.30,31,54)]

탈질균은 활성슬러지 미생물의 5% 정도인 것으로 알려져 있고 임의성미생물로써 증식속도가 느리다. 활성슬러지조에서는 탈질균에 의한 생물탈질이 이루어지는데 질산화로 생성된 질산염은 아래식과 같이 동화작용과 이화작용에 의해 N_2로 전환되어 제거된다.[23) 30)]

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2 \uparrow$$

NO_2^-, NO, N_2O등 탈질시의 중간생성물은 0.1%정도 생성되며 독성을 띠게 된다. 탈질균은 80%가 통성 혐기성균이므로 전자수용체로 산소대신 질산염을 이용하는 타가 영양균이며 질산염보다 암모늄염을 선호한다. 무산소 조건에서는 NO_2, NO_3 같은 결합산소를 이용하는 무산소 탈질이 진행된다.

산소 존재 조건에서는 유리산소를 이용하여 탈질이 진행되며 Pseudomonas, Micrococcus, Bacillus, Achromobactor 등이 증식한다. 탈질시 전자 공여체로는 탄소성 유기물질과 아세트산, 구연산, 메탄올 등 순수화합물과 미분해된 유기물, 슬러지 등이 이용된다.

질산염 1g이 탈질 될 경우에는 메탄 2.47g이 소비되고 0.45g의 세포가 증식되며 3.57g의 알칼리도가 생성되는 것으로 알려져 있는데, 탈질에 의한 알칼리도 상승은 Floc 형성에 기여 한다.[23)] 탈질반응은 DO 농도에 민감하므로

Collection @ chosun

DO 농도가 0.2mg/ℓ 이상조건에서는 탈질이 정지된다. 혼합배양 계에서는 DO 농도가 1mg/ℓ조건에서도 Floc 내부의 DO 농도가 0.1mg/ℓ이하이므로 빠른 탈질이 진행된다.

탈질 수온은 30~36℃가 최적범위이고 5~10℃범위에서는 탈질이 둔화되며 7℃ 이하에서는 탈질이 감소한다. 최적 pH 범위는 7.0~7.6이며, 7 이하에서는 탈질이 감소한다. 탈질에 적정한 C/N비는 3~5 이상이 제시되고 있고,[54] 1~3 범위에서는 탈질이 둔화되며 5~7 범위에서는 탈질이 양호하게 진행되므로 탈질 시는 혼합액의 pH가 상승한다.

Table 80과 같이 방류수의 C/N비가 3.5로 조사된 것으로 볼 때 침전조에서의 활발한 탈질반응이 이루어진다고 판정된다.

활성슬러지 공정에서의 탈질현상 관찰방법으로는 탈질조의 스컴 형성 여부 점검이 필요하다. 탈질조 내 스컴층 형성 시는 활발한 탈질에 의해 슬러지부상이 발생한 결과이다.

형성된 스컴층에는 탈질균이 부유하여 탈질조 내부 탈질율이 저하하므로 교반에 의한 스컴 파괴가 필요하다.[31] 점검 결과 탈질조의 NO_3-N 농도가 40mg/ℓ 이상으로 측정될 때는 탈질이 저조한 현상이다. 탈질조의 DO 농도는 0.2mg/ℓ이하로 유지해야 한다. 탈질조 SV 측정시 실린더 내부에서 DO가 신속히 고갈되므로 3~4 시간 후 슬러지가 부상하면 탈질이 활발한 경우이고, 탈질이 부진할 경우에는 1일 정도 정체 시 약간의 슬러지가 부상하게 된다. 침전조 체류시간을 4시간 이상 유지되도록 해야 하는데 침전조 체류 시 DO 고갈로 3~4시간 후면 탈질이 발생하게 된다. 침전조 수면에 거품이 부상할 경우에는 탈질진행에 의한 질소기포가 부상하기 때문이다. 침전조에서 슬러지가 부상할 경우에는 NO_3-N 농도가 1mg/ℓ 이상에서 발생하는 것으로 제시되고 있으나 실제 NO_3-N 농도가 5mg/ℓ 이상에서 슬러지 부상이 진행된다.

(3) 탈질효과

Table 80과 같이 당 폐수처리 시 공정별 T-N 농도 및 COD_{Mn}/N 비를 보면 원폐수 중의 평균 T-N 농도는 64.37mg/ℓ로써 C/N 비가 54 이므로 N가 부족한 상태인 것으로 조사되었다.

dCollection @ chosun

화학적처리 후의 T-N농도는 19.9mg/ℓ로 감소하고 C/N비가 116으로 낮아져서 정상적인 생물분해가 곤란하므로, 요소첨가로 N을 47.77mg/ℓ를 보충한 후 C/N 비를 34로 조정 투입한 결과 T-N제거율은 93.04%, BOD 제거율은 99.84%의 양호한 처리결과가 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 N의 추가 첨가율이 적정하였음이 인정된다.

Table 80. T-N Treatment rate by process

Classification / Items	Source waste water	Dissolved air flotation tank	Long-term aerator	Release tank	Treatment rate (%)	Remark
T-N (mg/ℓ)	64.37	19.9	67.67	4.48	93.04	47.77mg/ℓ addition
C/N ratio	54	116	34	3.5		COD_{Mn}
BOD:N ratio	1.37	0.72	2.42	99.56		

Table 81, Fig. 22와 같이 BOD/N비는 1.74~3.64 범위이며 평균 BOD:N비는 100:2.42 조건으로 운전되었다. 그러므로 당 폐수의 적정처리를 위한 BOD:N 값은 평균 100:2.42 범위가 적합한 값으로 제시된다.

Table 81. Ratio of BOD:N

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
BOD:N	3.24	2.32	1.69	2.16	1.80	2.01	2.99	3.64	2.47	3.26	1.76	1.74	2.42
Output T-N (mg/ℓ)	0.215	1.15	1.12	0.41	0.78	1.33	7.89	25.6	5.77	6.90	1.22	1.32	4.48

7월, 8월은 요소의 첨가량 증가에 의해 BOD/N가 2.99 와 3.64로 높게 유지되었으며 질산화반응의 최적온도 범위인 28~32℃를 초과한 33℃ 이상의 고수

Collection @ chosun

온 상태가 됨으로써 탈질율이 저하되었으므로 향후 질소첨가량의 조절이 필요하다. 방류 평균 T-N 농도는 4.48mg/ℓ로 높게 측정되어서 부영양화 유발 요인이 되므로 N의 추가 첨가량이 조정되어야 한다.

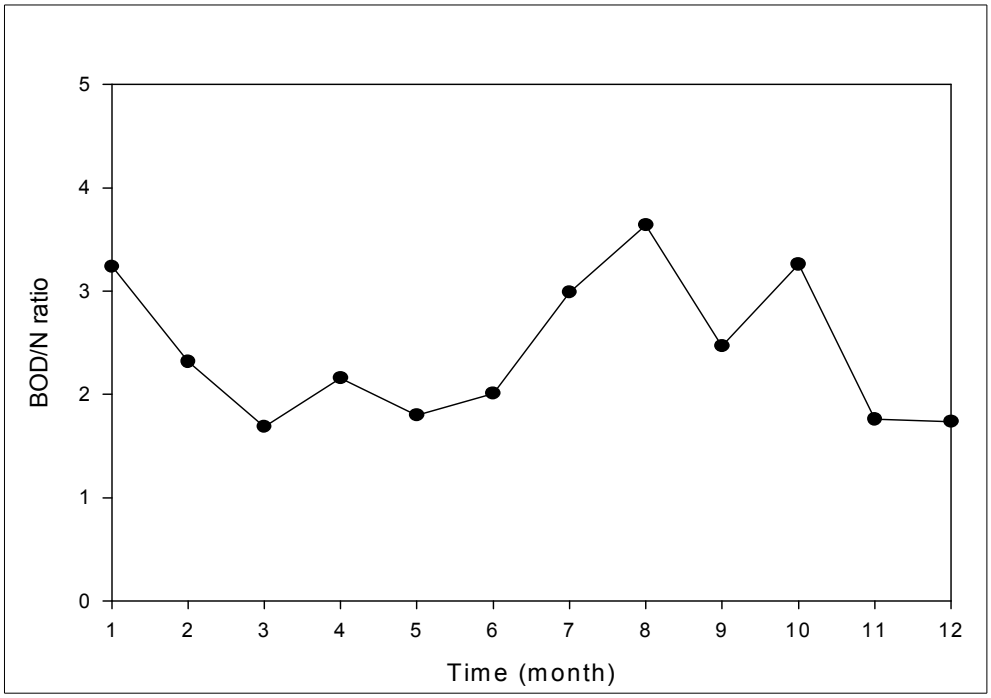

Fig. 22. BOD/N ratio.

Table 82와 같이 장기폭기조의 조별 운전조건에서 수온변화를 볼 때 1, 2, 3차 폭기조의 평균수온의 25.0℃로써 조별 온도차는 0.1℃에 불과 하였고 후단에서의 활발한 생물증식 활동은 없는 것으로 판단된다.

pH 조건을 보면 1 폭기조가 7.49, 2 폭기조가 7.65, 3 폭기조는 7.76으로 pH가 점차 상승하였다가 침전조에서 7.57로 감소하는 것을 볼 때 체류시간이 증가할수록 탈질율이 향상되는 것으로 판단이 되고 장기폭기조에서는 동시탈질이 이루어지고 있다.

장기폭기조 후단에서 원생동물과 미소후생동물이 증식하면 생리대사물질인 NH_3를 배출하므로 pH가 상승하게 된다.

dCollection @ chosun

DO 조건에서 침전조 반송슬러지의 DO농도가 평균 0.28mg/ℓ이나 2월과 3월, 4월, 11월, 12월을 제외하면 7개월의 반송슬러지 DO농도는 0.02~0.1mg/ℓ 이내로써 탈질에 적합한 조건으로 운전이 되고 있다. 1 폭기조와 3 폭기조의 pH 차이가 0.3이상일 경우에는 과잉공기에 의한 과산화 현상으로 평가하고 있는데 pH 증가 범위가 0.27에 그친 것으로 볼 때 공기공급량은 적정한 수준으로 인정된다.

Table 82. Operation conditions by aerator

Month	Water temp. (℃)				pH				DO (mg/ℓ)			
	1Aer.	2Aer.	3 er.	Return	1Aer.	2Aer.	3Aer.	Return	1Aer.	2Aer.	3Aer.	Return
1	17.3	18.0	18.0	17.8	7.24	7.25	7.40	7.31	0.3	1.6	2.3	0.06
2	18.6	18.6	18.7	18.3	7.30	7.52	7.70	7.56	1.7	2.9	3.3	0.20
3	21.5	21.7	21.6	21.4	7.31	7.49	7.57	7.48	1.2	2.0	2.2	0.4
4	24.1	24.2	24.2	24.0	7.43	7.52	7.64	7.51	3.7	3.7	3.6	0.2
5	29.0	28.7	28.4	28.2	7.61	7.66	7.71	7.54	0.1	1.3	2.4	0.04
6	30.8	30.9	30.5	31.1	7.36	7.56	7.67	7.21	0.2	2.8	3.0	0.03
7	32.8	32.8	32.7	32.6	7.38	7.38	7.47	7.46	0.1	1.9	2.1	0.03
8	33.0	33.2	32.7	32.3	7.52	7.86	7.93	7.54	0.1	2.6	3.0	0.02
9	28.9	28.9	28.7	28.5	7.42	7.66	8.03	7.71	0.3	3.1	3.6	0.04
10	26.1	25.9	25.4	25.2	7.61	7.87	7.90	7.67	0.7	3.7	3.8	0.10
11	20.1	19.8	19.5	19.3	8.19	8.18	8.26	8.17	0.7	4.3	4.7	1.25
12	17.9	18.0	17.9	17.5	7.56	7.79	7.87	7.62	1.5	3.4	3.6	0.90
Ave.	25.0	25.1	24.9	24.7	7.49	7.65	7.76	7.57	0.88	2.78	3.13	0.28

장기폭기조에서 당 폐수를 처리할 때 발생하는 동시탈질현상은 DO농도가 낮은 조건에서 Floc 입자내부에 형성된 무산소영역과 폭기조 하부에 25㎝높이로 퇴적한 혐기성 슬러지층의 기여에 의한다.

dCollection @ chosun

Table 83. Mixed liquids and state changes by aerator

Classification / Days	Initial concentration		Concentration after 10 hours			
	DO (mg/ℓ)	Water temp.(℃)	Classification	DO(mg/ℓ)	Water temp.(℃)	pH
2007/8/17	2.2	32.5	High quality water	1.7	34.7	7.54
			sludge	0.14	35.6	7.12
8/18	2.0	32.8	High quality water	1.01	25.0	7.58
			sludge	0.11	25.0	7.12
8/19	1.75	33.1	High qualty water	1.60	36.0	7.67
			sludge	0.08	37.7	7.24
8/20	3.1	32.3	High quality water	1.10	37.8	7.62
			sludge	0.07	40.3	7.10
8/21	2.0	32.5	High quality water	2.21	26.8	7.66
			sludge	0.52	27.0	7.11
8/22	1.9	32.7	High quality water	0.67	37.5	7.81
			sludge	0.10	38.4	7.51
average	2.16	32.7	High quality water	1.38	33.0	7.65
			sludge	0.17	34.0	7.20

Table 83과 같이 2007.8에 조별 폭기조 혼합액의 SV_{30}을 측정 후 10시간 정치한 다음 상등수와 하부 슬러지층의 수온, DO농도, pH값을 측정하였다.

초기측정 DO값은 2.16mg/ℓ이었는데 10시간이 경과한 후 실린더 상등수의 DO농도는 1.38mg/ℓ로, 하부침전 슬러지층 내부의 DO농도는 0.17mg/ℓ로 감소하였다. 수온은 초기가 32.7℃ 이었으나 10 시간 후 상등수 수온은 33℃로

Collection @ chosun

증가하였고 침전슬러지층의 수온은 34℃로 상승하였다. 이것은 대기온도 상승에 의한 영향이다.

pH 측정값은 10시간 후 상등수 pH가 7.65이었고, 하부 침전슬러지층의 pH는 7.20으로 떨어진 것으로 볼 때 하절기 고수온조건인 침전조 바닥에 침전하여 농축된 슬러지층에서는 활발한 생물대사에 의해 탈질과 유기물처리가 진행되고 있음을 알 수 있다.

폭기조의 MLSS농도는 7,618mg/ℓ이었는데 침전 후 반송되는 슬러지농도는 11,646mg/ℓ으로 압축됨으로써 침전조의 슬러지 압축비는 1.53으로 조사되었다.

슬러지 압축비가 평균 1.53으로 운전 될 경우에 상징액 계면계를 이용하여 침전된 슬러지층의 높이를 측정한 결과 20~30㎝ 범위 이내였다. 폭기조에서의 적정한 탈질을 유도하기 위한 잉여슬러지의 인출량은 10%/일 이내로 조정하여야 한다.

3. 탈인 반응[23.32,33)]

(1) 탈인 이론[23.32,33)]

활성슬러지 중 종속영양박테리아의 인 함량은 1.5~2.0%이고 건조중량으로는 20~30%이다. 혐기성조에서의 세포내 인 함량은 0.3g.P/g.vss로 알려져 있다. 폐수중의 인은 Ortho-phosphate, Polyphosphate, 유기인 형태로 존재하며, polyphosphate 와 유기인이 전체 T-P의 70%를 차지한다.[32)]

폐수중의 인은 부영양화를 일으키는 물질이므로 충분한 제거가 필요하고 인 제거 경로는 활성슬러지 미생물에 의한 생물흡착과 소석회나 응집제 첨가에 의한 화학적 응집과정으로 나눈다.

생물학적 처리 시에는 활성슬러지 세포내에 과잉의 인을 섭취하도록 운전조건을 조성한 뒤 침전된 슬러지를 제거함으로써 적정한 인 처리효율을 유지할 수 있다.

인의 제거조건은 0.5kg.BOD/kg.MLVSS에서 DO농도가 2~5mg/ℓ인 고부하 운전상태가 되면 인 제거량이 최대로 증가한다.[33)]

Collection @ chosun

고부하 조건에서 활성슬러지 Floc 형성균의 세포증식이 증가하면 유기물과 질소, 인을 동시에 흡수하므로 동시 탈질, 탈인이 이루어지게 된다. 인 제거에 적정 pH범위는 7~8이며 수온은 30~35℃ SRT는 3.7~7일이 제시된다.

침전조에서 탈질처리를 위해 DO를 낮추어서 반송슬러지가 혐기화되어 8~12시간 체류하면 세포내 인이 거의 방출되어 방류수 중의 T-P농도가 상승하게 되므로 최종 폭기조의 DO 농도와 슬러지 반송율을 상승시켜야 한다.

인이 방출되면 혐기성조의 상등수에는 과량의 T-P가 잔류하므로 소석회나 응집제를 첨가하면 T-P농도를 0.5mg/ℓ이하 유지가 가능하다. T-P를 화학적으로 제거하기 위해 알루미늄염과 철염의 응집제를 첨가시 Fe^{+2} , Fe^{+3} 와 반응하면 $FePO_4$가 생성되고 Al^{+}와 반응하면 $AlPO_4$가 생성되어 침전 제거된다.

1mg의 P는 1.8mg의 Fe^{+2} , Fe^{+3} 가 소요되지만 실제 철염의 첨가량은 화학양론보다 2~3배의 투입이 요구된다.[23)]

화학응집으로 생성된 슬러지중의 인은 혐기성 상태에서도 해리가 되지 않으므로 안정적 제거가 가능하다.

탈인 미생물인 Acinetobactor은 곧은 그람음성 간균으로 크기는 1.0~1.5㎛이고 짝을 이룬 체인형태나 다발형태로 출현한다.

Pseudomonas나 바실리우스, 에로모나스 등도 인 제거에 관여하는 미생물이며 인 축적 박테리아는 50%의 폴리인산염을 축적 할 수 있다.

세포내 인 함량은 통상적으로 15~20%의 축적이 이루어진다. 인 제거 미생물이 고농도로 축적한 다중인산염은 혐기성 상태에서 0.5~1시간 체류하게 되면 발효에 의해 생성된 휘발성 유기산을 이용하므로 체내 다중 인산염중의 인을 정인산염의 형태로 방출하고 세포구성 성분으로 결합한 인과 Mg, K, Ca 이온도 동시에 방출된다. 혐기성 상태에서의 인방출시 pH는 4.5가 적정한 범위이다.[23)]

인의 방출 후 호기성으로 전환이 되면 세포내 저장물질이 산화되면서 에너지가 생성되고 세포내 다중인산염의 섭취량이 과잉으로 증가하므로 폭기조내 인 농도의 감소가 이루어진다.

화학적 처리 시 Al염은 생물조 후단에 첨가하여 5~20분 교반을 하게 된다. 이때에 인은 충분히 가수분해가 된 상태이고 응집 후 Floc형성과 혼합에 필

Collection @ chosun

요한 적정한 체류시간 요구를 충족함에 따라 인 제거 효율이 최대로 증가한다. 2차 침전지 후단에 Al염을 첨가할 경우에는 T-P의 대부분이 인산형태로 존재하므로 약품응집이 용이하며 응집된 슬러지에는 무기성분이 증가하고 T-N의 방류농도도 감소하게 된다.

금속염 첨가 시 적정한 pH는 5.6~7.0 범위나 Al염이 6mg-Al/ℓ이상 증가시는 생물독성이 나타난다. 소석회 첨가 시 적정한 pH는 10.0 범위이다.

(2) 탈인 결과

Table 84, 85, Fig. 23과 같이 당 폐수처리 공정별 BOD:P비를 보면 원폐수 중 T-P농도는 11.27mg/ℓ로써 BOD:P가 0.24이다. 화학적처리 후의 T-P농도는 2.61mg/ℓ로 감소하고 BOD:P가 0.09로 떨어져서 활성슬러지 미생물 증식을 위한 영양 밸런스의 불균형이 발생하므로 인산으로 P를 10.93mg/ℓ 첨가한 후 BOD:P를 평균 0.51 최대 0.74로 조정 투입한 결과 T-P의 제거율은 98.94%로 분석되었다.

Table 84. T-P Treatment rate by process

Classifi-cation	Source waste water	Dissolved air flotation tank	Long-term aerator	Release tank	Treatment rate (%)	Remark
T-P (mg/ℓ)	11.27	2.61	13.54	0.144	98.72	
C/P ratio	309	887	171	110		COD_{Mn}
BOD:P ratio	0.24	0.09	0.51	3.2		

결론적으로 당 폐수의 적정처리를 위한 BOD:P비는 100:0.74 이하가 적합한 값으로 제시된다. 방류수 중의 T-P농도는 0.144mg/ℓ로 측정됨에 따라 T-P의 추가투입은 불필요하다.

Collection @ chosun

Table 73과 같이 1차 폭기조의 DO 농도는 0.9mg/ℓ으로 낮으나 2차 폭기조는 2.8mg/ℓ, 3차 폭기조는 3.1mg/ℓ으로 증가함에 따라 호기성 미생물에 의한 탈인 반응에 원활한 조건이 되고 있다.

폭기조 유출부나 최종침전조의 유출부에 적정농도의 철염이나 알루미늄 첨가시 방류수의 T-P농도는 0.05mg/ℓ 이하의 유지가 가능하다.

Table 85. BOD:P Ratio

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
BOD:P	0.62	0.51	0.39	0.37	0.29	0.32	0.47	0.60	0.43	0.73	0.71	0.74	0.51
Output T-P (mg/ℓ)	0.09	0.133	0.12	0.043	0.236	0.133	0.14	0.13	0.16	0.08	0.322	0.138	0.144

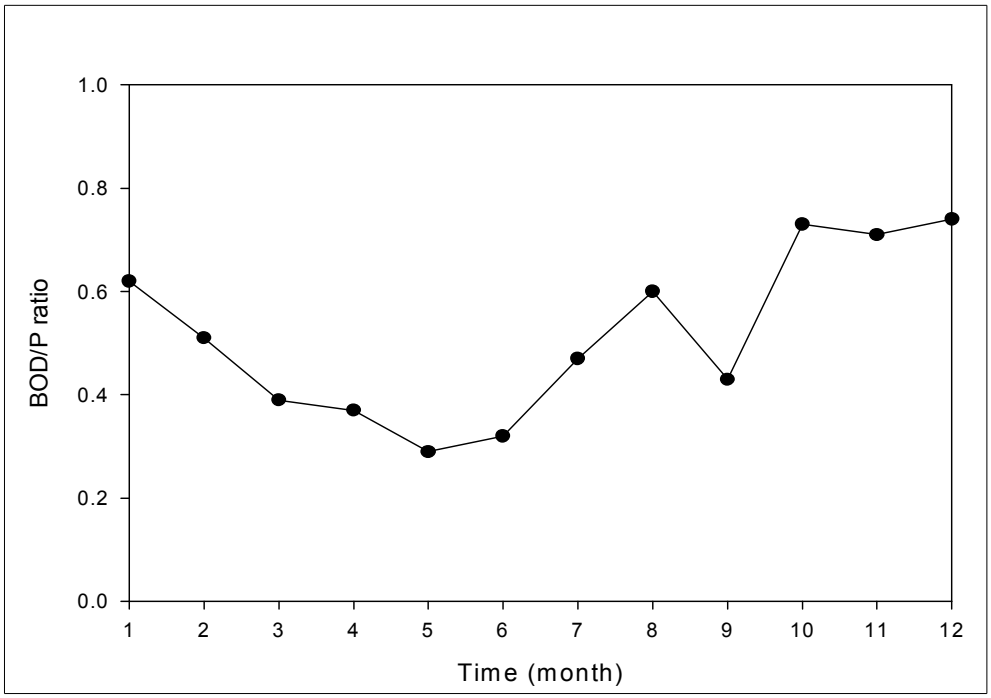

Fig. 23. BOD:P Ratio.

Collection @ chosun

제8절 유기물 생체 전환율[19,23,34,35)]

활성슬러지조에 유입하는 당 폐수 유기물은 15~35℃의 온도조건과 1~3mg/ℓ의 DO농도조건, 0.4이하의 F/M비, 4.0kg.BOD/kg.㎥ 이하의 용적부하, 24시간 이상의 체류시간 및 BOD:N:P=100:3:1 이하의 조건 등이 유지 될 때 활성슬러지 미생물의 활발한 증식활동이 일어나서 기질의 일부는 미생물 세포증식에 이용되며 일부 기질은 에너지대사에 이용된 후 CO_2 와 H_2O로 전환된다. 생물분해조에서 생물분해가 촉진되기 위한 운전조건으로 유입부하 변동 폭이 ± 15% 이내 일 것과 기질농도 중 BOD/COD비가 1.0 이상일 것, 유입 SS의 농도는 300mg/ℓ 이하 일 것이 요구되고 있다.[34)]

당 폐수의 기질은 당류와 유기산, 단백질이므로 BOD 분해균의 증식속도가 크고 장기폭기조는 혼합 배양계로서 20~30종의 활성슬러지 미생물이 증식하므로 BOD부하가 증가해도 안정적인 BOD제거율의 유지가 가능하다. 당 폐수 등의 고농도 폐수에서 1 마리의 박테리아는 28시간 내에 10 CFU로 증식한다.[19)]

표준활성슬러지 법에서 기질이 생물체나 생물체내 저장물질로 저장되는 부분은 43%이고 에너지원으로 산화된 부분은 57%로 알려져 있고, 다른 자료에 의하면 유기성 폐수의 생체전환계수는 0.55~0.60으로 제시하고 있다. 또한 BOD의 MLSS 전환율은 0.5~0.8kg/kg.BOD이며, MLSS 중에서 MLVSS는 80~90%인 것으로도 조사되었다.[23,34,35)]

활성슬러지 미생물은 반고형체인 gelatinous mass 상태이며 이러한 MLSS 농도 중 활성슬러지 미생물의 생체량은 Bio-mass인 MLVSS로 표시된다.

유입기질의 생체전환 계수는 일반적으로 0.5~0.6으로 알려지고 있는데 섬모충류는 50%가 생체로 전환되고 윤충류는 37%가 생체로 전환되므로 하절기 고온 환경에서 윤충류가 우점으로 증식하면 슬러지 생산량은 10~20% 감소하게 된다.[19,35)] BOD물질의 생체전환계수는 0.55~0.60 범위이나 SS 함유 폐수는 전환계수가 0.7~0.9로 증가하므로 1차 화학적 처리효율의 안정화에 의한 SS 농도의 감소가 요구된다.[35)]

Table 86과 같이 당 폐수의 생물학적 처리공정에 유입되는 BOD기질의 0.16%는 분해되지 않고 유출되었다.

Collection @ chosun

생물조에서 분해된 99.84%의 BOD 기질은 61.5~82.8%의 범위에서 생체로 전환되었으며 평균전환계수는 0.696 이다.

완전혼합조에서 제거되는 BOD는 75~95% 범위가 제시되고 있으나 유입 BOD의 95%가 제거되는 운전효율 값으로는 방류수질기준인 120mg/ℓ를 초과하는 138.7mg/ℓ로 배출되므로 98.0% 이상의 제거율을 갖는 설계목표 값의 재산정이 필요하다.

당 폐수는 BOD 분해균의 증식속도가 크고 수온, 용적부하, F/M비, DO농도, 체류시간, BOD, N, P비 등이 적합하게 운전된 관계로 BOD제거율이 99.84%에 이르는 높은 제거율을 보임에 따라 제시된 생체 전환율보다 높은 69.6%의 전환 값이 산출되었다.

6月의 생체 전환율이 낮게 나타난 것은 5月의 최고부하조건에서 미생물이 급속증식을 한 후 세포내부에 분해기질의 과잉 충진에 따라 기질의 2차분해시 생물피로의 누적이 발생하여 분해기질이 세포증식보다 대사에너지로의 전환이 증가한 영향으로 판단된다.

Table 86. BOD Organism conversion rate

Classifition / Items	Input BOD (kg)	Output BOD (kg)	Organism amount (kg)	Organism conversion (%)
1	21922.56	161.93	14165.8	64.6
2	18755.14	44.15	12405.2	66.1
3	16607.64	58.55	11306.2	68.1
4	28611.0	18.81	18988.1	66.4
5	47818.32	38.07	32226.7	67.4
6	42850.44	21.05	26289.8	61.5
7	39172.64	38.62	28059.5	71.6
8	28919.72	35.00	20839.1	72.1
9	24880.83	17.88	17660.5	71.0
10	12367.64	8.63	9777.2	79.1
11	14114.70	14.67	11693.8	82.8
12	15212.84	11.94	9777.1	64.3
Average	307955.5	469.3	214337.0	69.6

Collection @ chosun

Table 87. State of microorganisms in active sludge

Month	Floc	Filamentous virus	Microoganisms	A	B	C
1	◎	○	Centropyxis, Arecella, Epistylis, BoDo Litonotus, Aspidisca	◎	◎	○
2	●	○	Vorticella, Rotaria, Lecane, Arcella, Epistylis, Centropyxis, BoDo, Tokohrya	◎	◎	○
3	◎	○	Rotaria, Vovticella, Lecane, Arcella, Centropyxis, BoDo, Aspidisca	◎	◎	◎
4	◎	○	Rotaria, Lecane, Arcella, Centropyxis, Litonatus, Vorticella	◎	◎	○
5	○	○	Epistylis, Vorticella, Litonotus, Arcella	○	○	○
6	◎	○	Epistylis, Vorticella, Paramecium, Rotaria, Lecane, Aspidisca, Nematoda	○	○	○
7	◎	○	Rotaria, BoDo, Arcella, Centropyxis, Aspidisca, Litonotus	◎	◎	○
8	◎	○	Lecane, Rotaria, Arcella, Vorticella, Centropyxis, Litonotus, Polysis, BoDo, Epistylis, ToKopHrya	●	●	◎
9	◎	○	Vorticella, BlepHarisma, BoDo, Rotaria, nematoda, Centropyxis, AsPidisca, Litonotus, Polysis, CoPePoda	●	◎	◎
10	◎	○	Centropyxis, BlepHarisma, Rotaria, Arcella, Aspidisca, Litonotus, BoDo, Polysis, nematoda	●	●	●
11	◎	○	Centropyxis, Rotaria, Vorticella, Lecane, BlepHarisma, BoDo, Litonotus, Aspidisca, CoPePoda, nematoda	◎	◎	◎
12	●	○	Centropyxis, BlepHarisma, Arcella, Polysis, Litonotus, Aspidisca, BoDo	◎	◎	○

Table 87과 같이 폭기조의 수온이 33℃ 이상의 최고상태가 되는 6월은 고온 환경에서 우점으로 증식하는 윤충류의 증식이 활발하였고, 윤충류는 생체로 재 전환 되는 비율이 37%로 낮음에 따라 MLVSS로의 전환율이 61.5%로 낮게 나타났다. 현미경 조사에 의한 미생물명의 기재순서는 우점 출현하는 순서로 표시하였으며, 출현 미생물 개체수로 ● 표시는 10 개체 이상, ◎ 표시는 5~10 개체 이내, ○ 표시는 5 개체 이하로 나타내었다.

Collection @ chosun

Table 88. Conversion rate of MLVSS

Month / Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
MLSS (mg/ℓ)	6968	7860	7798	8519	7627	7473	6754	7239	7606	7451	7792	8329	7618
MLVSS (mg/ℓ)	6320	6455	6007	6675	5773	5552	5174	5038	5828	5699	5740	6838	5925
Conversion (%)	90.70	82.12	77.03	78.36	75.69	74.30	76.61	69.60	76.62	76.48	73.67	82.10	77.77

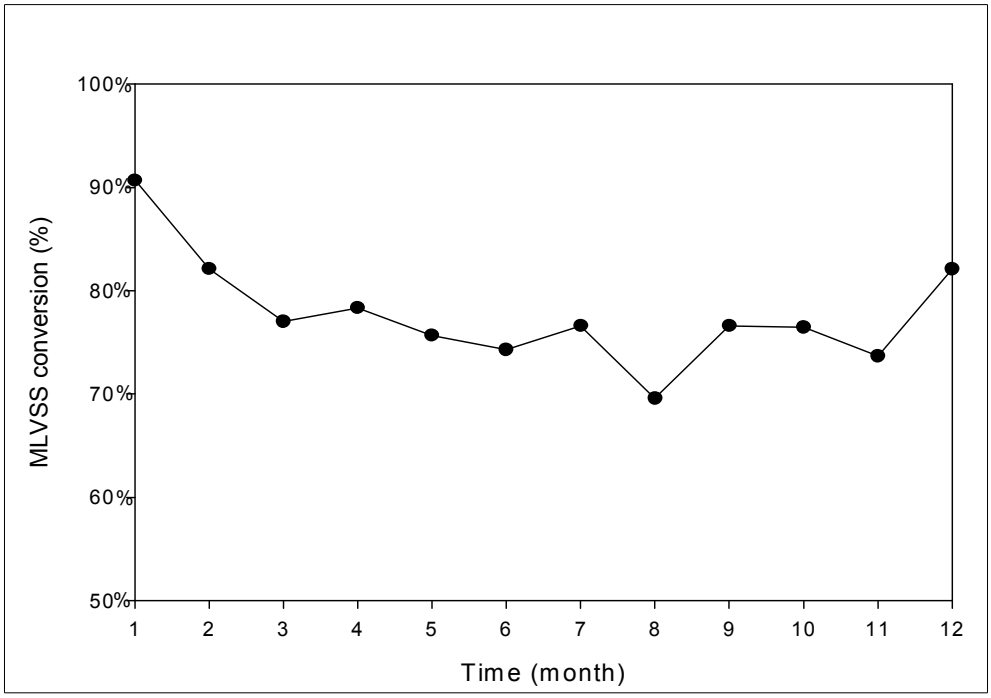

Fig. 24. Conversion rate of MLVSS.

유기성폐수 분해 시 합성되는 MLSS 중 80~90%가 순수생체인 MLVSS로 전환되는 것으로 알려져 있으나 Table 88, Fig. 24와 같이 당 폐수의 장기폭기처리 시 MLVSS 전환율은 77.77%로 조사 되었다.

결론적으로 1kg의 BOD중 0.696kg이 폭기조에 잔류하는 생체와, 제거되는 잉여슬러지 중의 VSS로 전환이 되었다.

Collection @ chosun

제9절 생체흡착율[19,30,32)]

생물학적 폐수처리공정은 유입된 오염물질을 미생물세포가 흡수하여 세포내에 축적 한 후 세포내에서 저장물질을 산화하여 일부는 미생물 세포증식에 이용이 되고 일부는 대사 활동을 위한 에너지로 소비하게 된다.

호기성 폐수처리 시 미생물 생체의 유기물 흡착반응을 보면 유기물의 초기 유입 시 콜로이드와 입자상물질은 세포외벽에 부착 또는 흡착이 되고, 용해성 유기물은 생화학적으로 활성슬러지 세포에 직접 흡수되는데 충분한 폭기가 진행될 경우에 용해성 TOC는 초기 30분 이내에 70%가 흡수되고 용해성 COD는 1시간이내에 77%가 흡수되는 것으로 알려져 있다.

다만 DO공급 농도와 폭기 강도가 부족할 경우에는 초기 유기물 흡착율이 저조되나 폭기를 개선 한 후 2시간정도 경과하면 유기물 흡착력이 정상적으로 회복된다.[19)] 그러나 과폭기 할 때에는 내호흡상태가 되므로 활성슬러지 Floc이 해체되고 BOD 흡착율이 저하하게 되는데 Floc 해체를 억제할 경우 흡착율이 유지된다.

생물학적 폐수처리시설의 설계 시 활성슬러지 생체의 BOD, COD, SS등의 흡착능력은 95% 이상 유지될 것이 요구되고 있고 N-H, T-N, T-P의 흡착율은 90% 이상이 유지되어야 도시 공업지역의 수질 배출허용기준 준수가 가능하며 오염물질 배출저감에 의한 수자원의 보전이라는 수질오염 방지시설의 설치목적 달성이 가능하다.

단위생물 당 질소제거 량으로는 0.08~0.8kg.BOD/kg.MLSS 조건에서 T-N제거량/MLSS총량 = 0.02~0.06으로 제시되어 있고, 0,5kg.BOD/kg.MLSS에서 DO농도 2.0mg/ℓ이고 유출구의 DO농도가 5.0mg/ℓ인 과부하 상태에서 미생물 세포의 활발한 증식으로 인의 제거율은 최대로 상승하게 된다.[30)]

T-P의 제거량은 0.15~0.20kg T-P/kg. MLSS로 제시되어 있다.

1. BOD 흡착

Table 89, Fig. 25와 같이 BOD 물질의 생체흡착량은 1차 폭기조의 용적부하가 평균 1.64kg.BOD/㎥.day로 유입될 경우에 0.8893kg.BOD/kg.MLVSS 범위로 흡착되었다.

Collection @ chosun

장기폭기조 전 공정에서의 제거량은 0.8904kg.BOD/kg.MLVSS 이나 1차 폭기조에서 생체흡착량의 대부분인 99.71%가 제거되었다. 4월부터 9월 까지 6개월간의 생체흡착량은 1.02634kg.BOD/kg.MLVSS 으로 년 평균 흡착율보다 1.15배 높게 증가하였다.

증가사유는 하절기의 폭기조 수온상승과 유입 용적부하가 평균 2.27kg.BOD/㎥.day으로 평균 용적부하보다 1.38배 증가함으로써 미생물 섭취를 위한 풍부한 기질유입과 고수온에 의한 미생물세포 활성화에 의한 결과이다.

고부하 운전조건인 6개월간의 BOD 총 제거율도 년 평균제거율 99.90%보다 높은 99.95%로 조사되었다.

하절기 아이스크림 당 폐수 배출이 급증하여 월평균 BOD 용적부하가 3.06 kg.BOD/㎥.day로 상승하였을 때 폭기조 수온 24~33℃, F/M비는 0.08~0.13 kg.BOD/kg. MLVSS, DO 농도는 0.1~0.3 mg/ℓ, BOD:N:P=100:2.51:0.41의 운전조건에서 경제적이고 양호한 처리결과 값을 얻을 수 있었다.

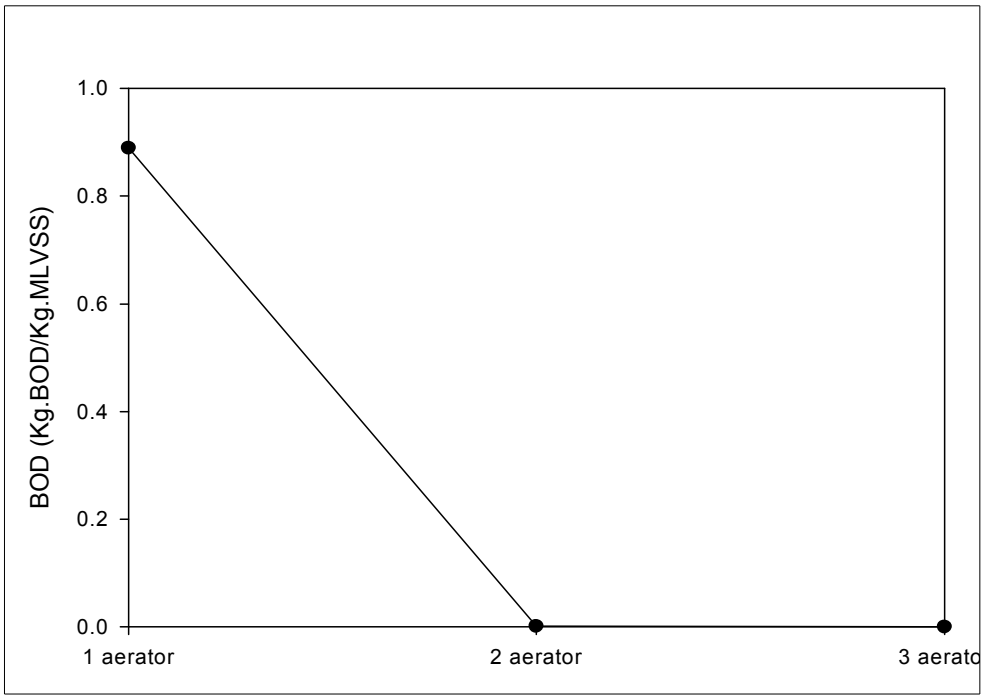

Fig. 25. Absorption rate of BOD.

Collection @ chosun

BOD 물질의 최대 흡착량은 6월 중이 1.1741kg.BOD/㎥.day로써 최저 흡착량인 10월 중의 0.6161kg.BOD/㎥.day보다 1.91배가 높게 나타난 것으로 볼 때 유입기질 농도가 높을수록 미생물의 활발한 증식활동이 이루어지는 것을 알 수 있으며, 폐수처리공정을 합리적으로 관리하면 아이스크림 생산량을 현재보다 50% 이상 확대하는 생산성 향상 목표의 수립이 가능함을 알 수가 있다.

Table 89. Amount of BOD absorption.

분류	Organism amount	Absorption amount (kg.BOD)				Absorption rate (kg.BOD/kg.MLVSS)			
	(kg.MLVSS)	1 Aer.	2 Aer.	3 Aer.	Total	1 Aer.	2 Aer.	3 Aer.	Total
1	22439.6	21634.0	104.84	21.80	21760.6	0.9640	0.0047	0.0010	0.9697
2	23547.3	18676.4	28.67	5.93	18711	0.7931	0.0012	0.0003	0.7946
3	22685.7	16503.2	37.99	7.90	16549.1	0.7275	0.0017	0.0003	0.7295
4	29578.1	28577.3	11.88	2.97	28592.2	0.9662	0.0004	0.0001	0.9667
5	43995.6	47750.8	24.56	4.91	47780.3	1.0853	0.0006	0.0001	1.0860
6	36467.4	42812.8	13.99	2.66	42829.4	1.1741	0.0004	0.0000	1.1745
7	37848.5	39103.7	25.11	5.20	39134.0	1.0332	0.0007	0.0001	1.0340
8	29961.3	28857.3	22.69	4.71	28884.7	0.9631	0.0008	0.0002	0.9641
9	26543.1	24840.4	11.67	10.88	24863.0	0.9359	0.0004	0.0004	0.9367
10	20051.4	12352.3	5.57	1.19	12359.0	0.6161	0.0003	0.0000	0.6164
11	21740.3	14090.3	8.10	1.63	14100.0	0.6482	0.0004	0.0000	0.6486
12	19897.4	15192.5	6.95	1.45	15200.9	0.7636	0.0003	0.0001	0.7640
Ave.					25891.0	0.8893	0.0009	0.0002	0.8904

Collection @ chosun

2. SS 흡착

Table 90, Fig. 26과 같이 1차 처리수중에 103mg/ℓ로 장기폭기조에 유입된 SS는 장기폭기조에서 0.0305kg.SS/kg.MLVSS 범위로 생체흡착이 된 후 11.3mg/ℓ의 농도로 방류되었다.

1차 폭기조에서의 흡착량은 0.0249kg.SS/kg.MLVSS로 전체 흡착량의 81.64%였고, 2차 폭기조에서는 0.0039kg.SS/kg.MLVSS가 흡착되었으며 흡착율은 12.79%이었다.

3차 폭기조에서는 0.0017kg.SS/kg.MLVSS가 흡착되어 5.57%가 흡착되었다.

SS의 초기 흡착율이 낮은 것은 1월중 저수온 조건에서 1.34kg.BOD/㎥.day의 고부하 유입 시 활성슬러지의 SS 흡착율이 둔화된 것과 5,6,7월 3개월간 2.67kg.BOD/㎥.day의 고부하 조건에서 활성슬러지 미생물의 분산증식이 활발한 결과이다.

장기폭기조에서 BOD 처리율은 높았으나 SS 처리율은 89.03% 로 낮게 나타났다.

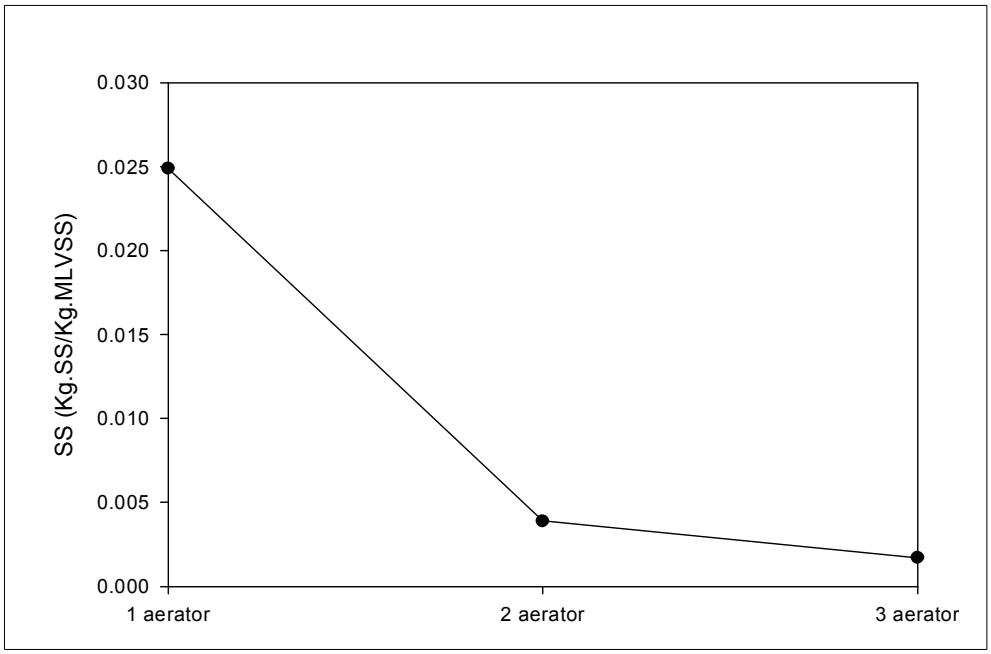

Fig. 26. Absorption rate of SS.

Collection @ chosun

방류수 SS 농도가 높은 현상은 장기폭기조의 특성상의 Floc 해체에 의한 것이므로 공침이나 여과처리공정을 도입하여 SS의 Floc내 흡착 증가 또는 침전이나 여재 흡착을 통해 SS의 처리율을 개선해야 한다.

장기폭기조의 SS 흡착율은 3월 중에 최저로 0.0107kg.SS/kg.MLVSS이고, 8월이 최대로 0.0466kg.SS/kg.MLVSS로 4.36배의 큰 차이를 보이고 있는 것은 폐수기질 유입조건에 따라 활성슬러지 Floc의 폭넓은 SS 흡착 능력범위를 관찰하게 해준다.

Table 90. Amount of SS absorption

분류	Organism amount (kg.MLVSS)	Absorption amount(kg.SS)				Absorption rate (kg.SS/kg.MLVSS)			
		1 Aer.	2 Aer.	3 Aer.	Total	1 Aer.	2 Aer.	3 Aer.	Total
1	22439.6	189.95	394.44	171.27	755.66	0.0085	0.0176	0.0076	0.0377
2	23547.3	352.57	57.33	25.04	434.94	0.0150	0.0024	0.0011	0.0185
3	22685.7	169.93	50.93	21.90	242.76	0.0075	0.0022	0.0010	0.0107
4	29578.1	750.42	49.5	20.79	820.71	0.0254	0.0017	0.0007	0.0278
5	43995.6	995.91	179.28	77.36	1252.55	0.0226	0.0041	0.0018	0.0285
6	36467.4	626.04	231.77	101.23	959.04	0.0172	0.0063	0.0028	0.0263
7	37848.5	1402.31	111.41	49.02	1562.74	0.0371	0.0029	0.0013	0.0413
8	29961.3	1270.97	85.70	38.62	1395.29	0.0424	0.0029	0.0013	0.0466
9	26543.1	896.63	40.02	17.88	954.53	0.0338	0.0015	0.0007	0.0360
10	20051.4	846.63	33.17	14.60	894.40	0.0422	0.0017	0.0007	0.0446
11	21740.3	504.91	28.81	12.50	546.22	0.0232	0.0013	0.0006	0.0251
12	19897.4	466.68	48.63	21.47	536.78	0.0235	0.0024	0.0011	0.0270
Ave.						0.0249	0.0039	0.0017	0.0305

Collection @ chosun

3. N-H 흡착

Table 91, Fig. 27 과 같이 당 폐수에 유입되는 N-H중 광물성 N-H은 1차 가압부상처리 시 대부분 제거가 되지만 동식물성 N-H은 5.57mg/ℓ의 농도로 잔류하여 장기폭기조에 유입이 된다.

3月은 원폐수중 동식물성 N-H 농도가 평균농도보다 3.60배 초과 유입한 관계로 화학적처리가 충분히 이루어지지 않아서 30.4mg/ℓ의 고농도로 유입하여 폐수처리에 영향을 준 관계로 BOD 총 처리율은 평균처리율보다 낮은 99.85%로 조사되었다.

1차 폭기조에 유입된 N-H은 99.99%가 제거되었고 2,3차 폭기조에서는 0.01% 정도의 미량 제거가 이루어졌다.

N-H의 생체흡착량은 0.0012kg.N-H/kg.MLVSS 이며 당 폐수처리 공정에서 최대 0.0062kg.N-H/kg.MLVSS 이 생물학적처리에 의해 제거되었다.

N-H의 유입증가는 활성슬러지 세포내 산소공급 저해와 미분해에 의한 방선균 증가의 사유가 되므로 1차 화학처리 시 충분한 제거가 필요하다.

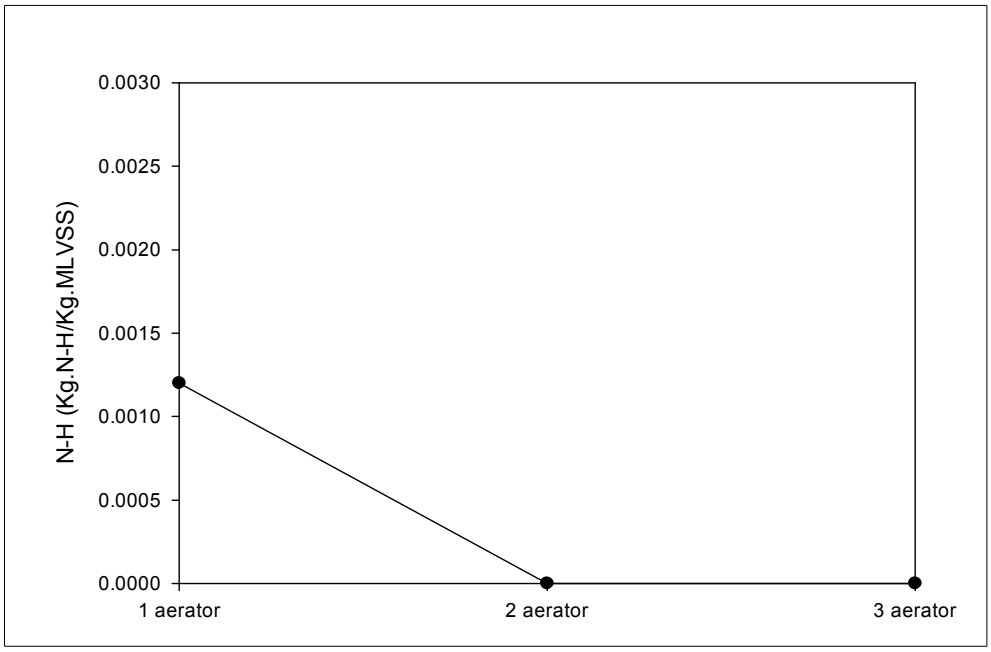

Fig. 27. Absorption rate of N-H.

dCollection @ chosun

아이스크림 제조공정에서 N-H의 발생량은 동절기 제품으로 유지방함량이 많은 콘이나 컵 제품의 생산 시 증가하며 하절기 제품인 Bar제품 생산 시는 감소하는 특성이 있고 N-H의 평균제거율은 88.15% 이다.

Table 91. Amount of N-H absorption

분류	Organism amount (kg.MLVSS)	Absorption amount(kg.N-H)				Absorption rate (kg.N-H/kg.MLVSS)			
		1 Aer.	2 Aer.	3 Aer.	Total	1 Aer.	2 Aer.	3 Aer.	Total
1	22439.6	32.59	7.06	4.57	44.22	0.0015	0.0003	0.0002	0.0020
2	23547.3	58.92	4.48	2.90	66.30	0.0025	0.0002	0.0001	0.0028
3	22685.7	135.85	3.24	2.09	141.18	0.0060	0.0001	0.0001	0.0062
4	29578.1	124.44	3.07	1.88	129.39	0.0042	0.0001	0.0001	0.0044
5	43995.6	0.61	0.86	0.61	2.08	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	36467.4	2.66	1.20	0.93	4.79	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
7	37848.5	5.94	4.01	1.63	11.58	0.0002	0.0001	0.0000	0.0003
8	29961.3	1.81	0.60	0.24	2.65	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	26543.1	0.43	0.17	0.09	0.69	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	20051.4	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	21740.3	0.22	0	0.05	0.27	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	19897.4	1.71	0.25	0.19	2.15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ave.						0.0012	0.0000	0.0000	0.0012

Collection @ chosun

4. T-N 흡착[30)]

활성슬러지 미생물의 세포증식에 이용되는 T-N은 화학적처리 후 19.9mg/ℓ의 농도가 되는데 이는 C/N비의 부족으로 생체증식에 영향을 주게 된다. 그러므로 47.77mg/ℓ질소를 첨가해서 C/N비를 34로 조정하여 처리하였다.

Table 92, Fig. 28과 같이 장기폭기조 전 공정의 생체흡착량은 0.0205 kg.T-N/kg.MLVSS 이며, 1차 폭기조에서의 생체흡착량은 0.0195kg.T-N/Kg, MLVSS로 전체의 95.13%가 흡착되었다. 0.08~0.8kg.BOD/kg.MLVSS 조건에서 제시된 T-N 흡착 값은 0.02~0.06이었다.[30)] 2차 폭기조에서는 3.41%가, 3차 폭기조에는 1.46%가 흡착되었다. T-N의 흡착율이 93.38%로서 다른 유기물질 보다 낮은 것은 하절기에 수온이 증가 할수록 T-N의 제거율이 저하됨에도 불구하고 7,8,9월의 3개월간 T-N을 과량 첨가한 영향이다.

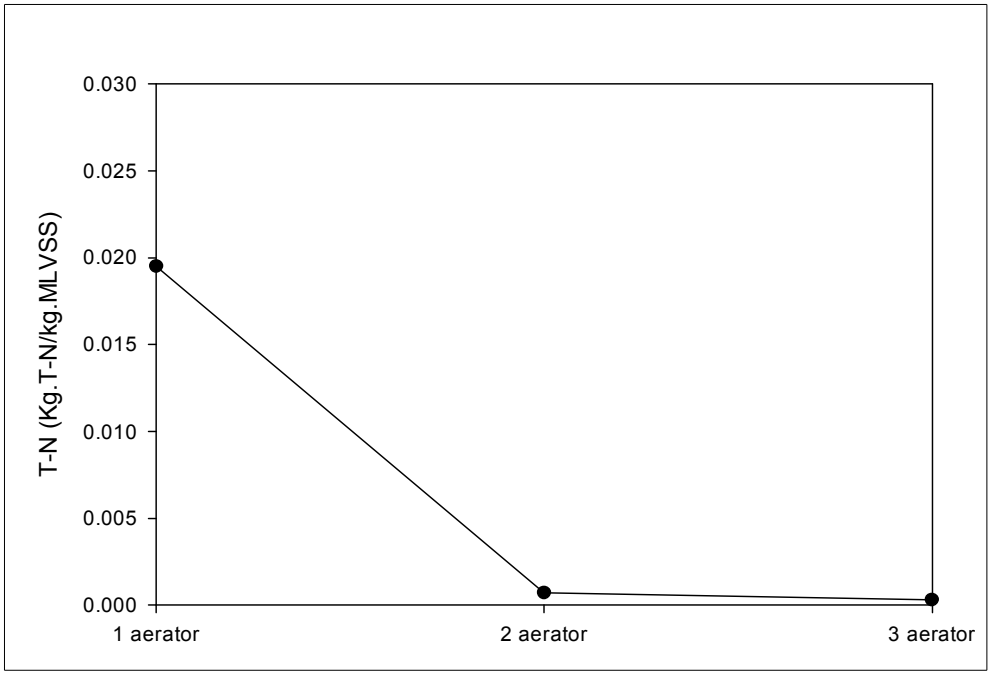

Fig. 28. Absorption rate of T-N.

Collection @ chosun

T-N을 처리하기 위한 별도의 탈질조가 설치하지 않은 장기폭기 공정에서의 T-N 제거를 위해서는 BOD:N=100:2.42 정도의 운전조건 유지가 필요하다.

장기폭기조의 T-N 생체 흡착량은 0.0111~0.0315Kg,T-N/Kg,MLVSS 범위이며 수온이 낮은 1월의 T-N 흡착율이 가장 높았다.

Table 92. Amount of T-N absorption

분류	Organism amount (kg.MLVSS)	Absorption amount (kg.T-N)				Absorption rate (kg.T-N/kg.MLVSS)			
		1 Aer.	2 Aer.	3 Aer.	Total	1 Aer.	2 Aer.	3 Aer.	Total
1	22439.6	706.98	0.93	0.88	708.79	0.0315	0.0000	0.0000	0.0315
2	23547.3	649.18	3.30	2.90	655.38	0.0276	0.0001	0.0001	0.0278
3	22685.7	270.84	2.33	2.05	275.22	0.0119	0.0001	0.0001	0.0121
4	29578.1	612.02	1.78	1.58	615.38	0.0207	0.0001	0.0000	0.0208
5	43995.6	844.00	4.18	3.68	851.86	0.0192	0.0001	0.0001	0.0194
6	36467.4	829.57	7.73	6.79	844.09	0.0227	0.0002	0.0002	0.0231
7	37848.5	957.41	51.54	44.57	1053.52	0.0253	0.0014	0.0011	0.0278
8	29961.3	490.40	136.39	117.08	743.61	0.0164	0.0046	0.0004	0.0214
9	26543.1	524.95	21.63	18.64	565.22	0.0198	0.0008	0.0007	0.0213
10	20051.4	319.87	20.17	17.38	357.42	0.0160	0.0010	0.0008	0.0178
11	21740.3	236.37	2.94	2.50	241.81	0.0109	0.0001	0.0001	0.0111
12	19897.4	249.51	3.66	3.16	256.33	0.0125	0.0002	0.0002	0.0129
Ave.						0.0195	0.0007	0.0003	0.0205

Collection @ chosun

5. T-P 흡착[32)]

Table 93, Fig. 29와 같이 T-P는 화학적처리 시 2.61mg/ℓ로 감소하므로 11.12mg/ℓ의 P를 첨가하여 BOD:P를 100:0.51로 조정 투입하였다.

장기폭기조 전 공정에서 인 축적미생물에 의한 T-P의 생체흡착량은 0.0044 kg.T-P/Kg.MLVSS이며 1차 폭기조에서의 생체 흡착량은 99.99%이었다. 제시된 T-P의 흡착값은 0.015~0.020 이었다.[32)]

유입 T-P의 대부분은 1차 폭기조에서 제거됨에 따라 2,3차 폭기조에 의한 T-P제거의 장기체류효과는 극히 미미한 수준이다. T-P의 제거율을 높이기 위한 별도의 탈인조가 설치하지 않은 장기폭기공정에서는 BOD:P=100:0.74 이하의 운전조건 유지가 적합하였고, T-P의 평균제거율은 98.94% 이었다.

Table 93. Amount of T-P absorption

	Organism amount (kg.MLVSS)	Absorption amount (kg.T-P)				Absorption rate (kg.T-P/kg.MLVSS)			
		1 Aer.	2 Aer.	3 Aer.	Total	1 Aer.	2 Aer.	3 Aer.	Total
1	22439.6	133.80	0.62	0.31	134.73	0.0059	0.0000	0.0000	0.0059
2	23547.3	93.91	0.59	0.31	94.81	0.0040	0.0000	0.0000	0.0040
3	22685.7	63.21	0.10	0.19	635.0	0.0028	0.0000	0.0000	0.0028
4	29578.1	106.36	0.29	0.15	106.80	0.0036	0.0000	0.0000	0.0036
5	43995.6	131.68	1.94	1.02	134.64	0.0031	0.0000	0.0000	0.0031
6	36467.4	134.95	1.18	0.63	136.76	0.0038	0.0000	0.0000	0.0038
7	37848.5	181.19	1.40	0.72	183.31	0.0048	0.0000	0.0000	0.0048
8	29961.3	169.31	1.05	0.55	170.91	0.0057	0.0000	0.0000	0.0057
9	26543.1	103.18	0.91	0.48	104.57	0.0039	0.0000	0.0000	0.0039
10	20051.4	88.96	0.36	0.19	89.51	0.0045	0.0000	0.0000	0.0045
11	21740.3	96.96	1.17	0.61	98.74	0.0045	0.0000	0.0000	0.0045
12	19897.4	110.08	0.58	0.30	110.96	0.0056	0.0000	0.0000	0.0056
Ave.						0.0044	0.0000	0.0000	0.0044

Collection @ chosun

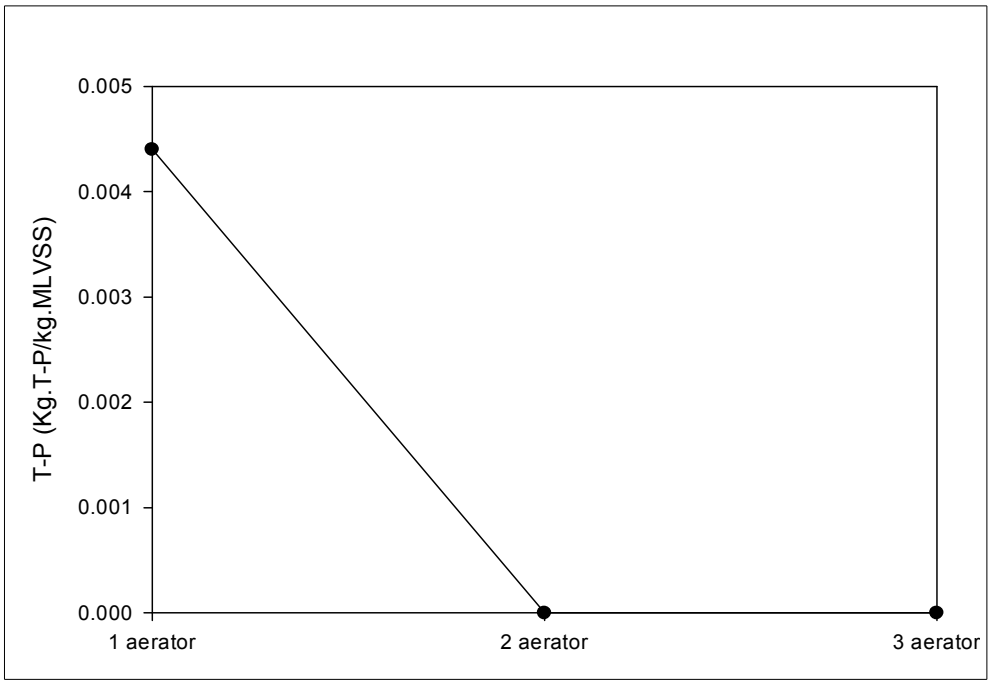

Fig. 29. Absorption rate of T-P.

Collection @ chosun

제10절 생물탈취[36,37)]

자연생태계에서는 박테리아에 의해 질소나 유황을 함유한 유기화합인 단백질, 지방, 아민류, 메르캅탄류 등의 분해대사 과정에서 H_2S나 NH_3와 같은 휘발성물질을 생성함으로써 악취가 발생한다. 인공적인 발생원인 환경오염방지시설 중에는 폐수, 대기, 분뇨처리, 음식물처리장 등이 해당되며 암모니아, 황화메틸, 메틸메르캅탄, 아민, 인돌 등의 형태로 악취물질이 발생한다. 악취는 인체에 피로감, 두통, 식욕감퇴, 소화불량 등을 일으키므로 적절한 제어대책이 필요하다.

발생한 악취의 제거법은 공기희석에 의해 대기 중으로 확산하는 방법과 세정액으로 악취물질을 흡수하는 방법, 활성탄 등을 이용한 흡착법, 오존을 이용한 악취물질의 산화법, 소각로에서의 직접연소법, 향료를 첨가한 마스킹법, 생물학적 탈취법 등이 이용된다.[36)]

Table 27과 같이 아이스크림제조 당 폐수를 처리하는 폐수처리공정에서는 원폐수집수조, 유량조정조, 농축조, 스컴조 등에서 암모니아, 황화수소, 메틸메르캅탄, 황화메틸, 이황화메틸, 아세트알데히드, 프로피온알데히드, N부틸알데히드, N 발레르알데히드, 이소 발레르알데히드와 탄화수소류인 스타이렌 등 11종의 악취물질이 발생하였다.[37)]

원폐수집수조에서는 아세트알데히드가 157.3ppb로 높게 검출되었고 유량조정조에서는 암모니아가 128ppb, 스컴 탱크에서도 암모니아가 52ppb로 검출되었다.

원폐수집수조와 유량조정조, 스컴 탱크 등에서는 휘발성 악취물질이 배출되어 대기 중으로 확산이 된다. 각 탱크 체류수중에 발생기 상태로 잔류하는 악취물질은 각 공정을 거쳐 최종적으로 장기폭기조에 유입된 후 생물탈취가 이루어지고 있다.

활성슬러지 미생물은 NH_3, H_2S등의 황 화합물과 메틸메르캅탄 같은 악취물질을 생물학적으로 흡수, 분해하는 능력이 있다. 이러한 생물탈취법은 폐수처리 공정에서 발생하는 악취의 제거에 가장 경제적이며 탈취효과는 확실하고 2차 오염물질이 발생하지 않는 방법이다.

폐수처리장에서 발생하는 악취물질은 후단의 호기성 생물학적 처리공정이

Collection @ chosun

소화할 수 있는 정도로 배출이 된다.

생물학적 탈취방법은 토양주입에 의한 토양탈취법이나 활성슬러지군의 복합미생물을 이용하여 처리할 수 있고 Bio-filter에 악취제거능이 우수한 미생물을 배양하여 악취를 제거하는 방법이 이용된다.

Fig.30과 같이 원폐수 집수조에서 157.3ppb로 검출된 아세트알데히드는 화학적처리 후 이송된 스컴 탱크에서 37.6ppb로 감소함으로써 응집부상에 의한 제거율이 76.10%임을 알 수 있다.

화학적 응집부상에 의한 탈취효과로 프로피온알데히드는 74.29%, iso 발레르는 100%의 탈취율을 보였으며 스타이렌은 60.23%가 탈취되었다.

스컴 탱크는 완전한 혐기성상태로써 암모니아와 황화수소, N부틸알데히드가 증가하였고 이황화메틸은 새로이 생성되었다.

유량조정조도 혐기화조건에서 암모니아 농도가 현저하게 증가하였고 황화수소, N부틸알데히드도 증가하였으며, 프로피온알데히드와 스타이렌은 감소하는 결과가 측정되었다.

스컴 탱크의 부패 스컴은 침전조 발생 잉여오니와 혼합 탈수하여 지렁이 사육장으로 반출하는데, 지렁이의 생체분해와 분변토에 의한 탈취효과에 의해 지렁이 사육장에서 악취는 오감에 의해 감지되지 않는다.

유량조정조의 악취 잔류수는 장기폭기조에 유입된 후 MLVSS 농도로 5925mg/ℓ이며, 잔류량이 10444.9kg인 활성슬러지 세포에 흡수되어 NH_3농도는 67.97%가 제거되었다.

제거된 NH_3는 세포증식을 위한 N 공급원으로 이용이 됨으로써 폭기조의 질소 투입비는 BOD:N=100:2.42 범위에서 폐수처리가 가능하였다.

부지경계선에서 검출된 황화메틸은 브로아실 주변의 슬러지 혼합탱크에서 발생하여 확산된 것으로 추정된다.

Collection @ chosun

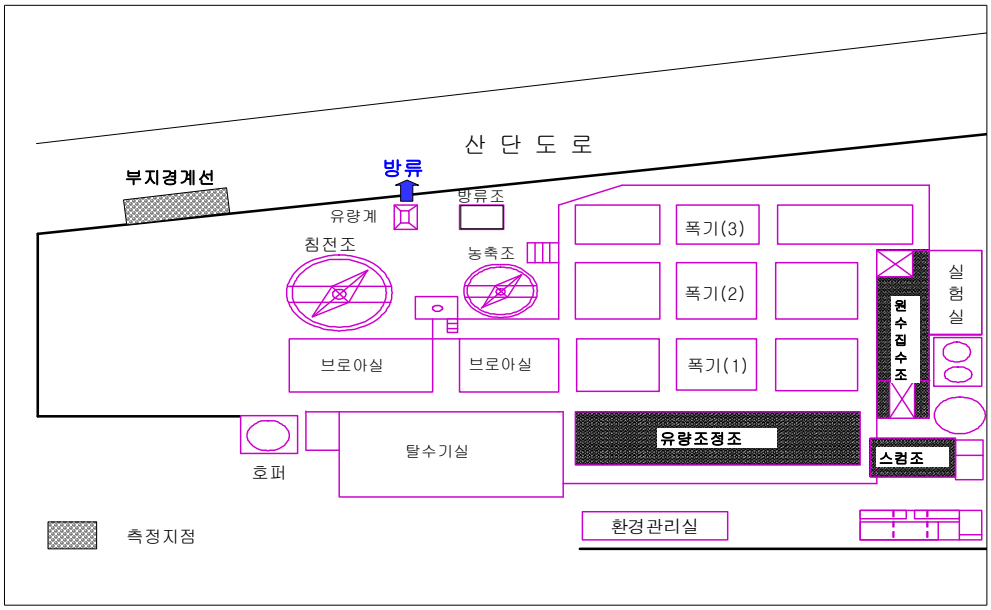

Fig. 30. Malodor measuring point.

Collection @ chosun

제11절 순환 물질수지

Table 94, Fig. 31과 같이 당 폐수 처리공정에 유입된 폐수의 총량은 130,586 ton이다.

생산현장에서 유입한 순수폐수는 전체폐수 발생량의 97.92%인 127,871 ton이며 6~8월 장마에 의한 강수유입량은 0.77%인 1,010 ton이다.

Table 94. Circulating water input and output

Classification	Input waste water (ton/year)	Classification	Output waste water (ton/year)
Input waste water	127,871	Output waste water	111,055
Wastewater generation	1,705	Evaporation loss	18,466
Precipitation input	1,010	Moisture rate of cake	1,065
Total	130,586		

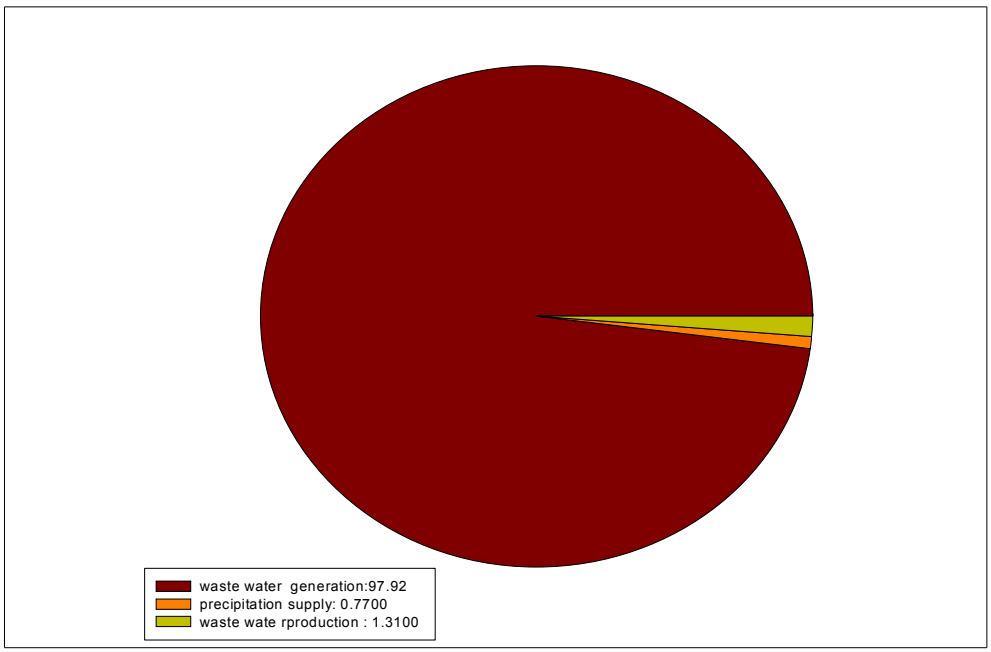

Fig. 31. Composition of input waste water.

Collection @ chosun

슬러지를 탈수하는 벨트프레스의 여과포 세척용으로 사용하는 상수도는 반류수로 전환되므로 폐수처리공정에서 별도로 생산되는 폐수량은 1.31%인 1,705 ton 이다.

Fig. 32와 같이 폐수처리공정에 순환 된 후 배출되는 폐수배출구성비는 폐수방류량이 85.04%인 111,055 ton이고, 장기폭기조에서 브로아 가동에 의한 폭기와 수온, 대기, 기상조건 등에 따라 대기 중으로 증발되는 증발손실량이 14.14%인 18,466 ton이었다. 슬러지케익으로 배출되는 함수량은 0.82%인 1,065 ton의 물수지가 규명된다.

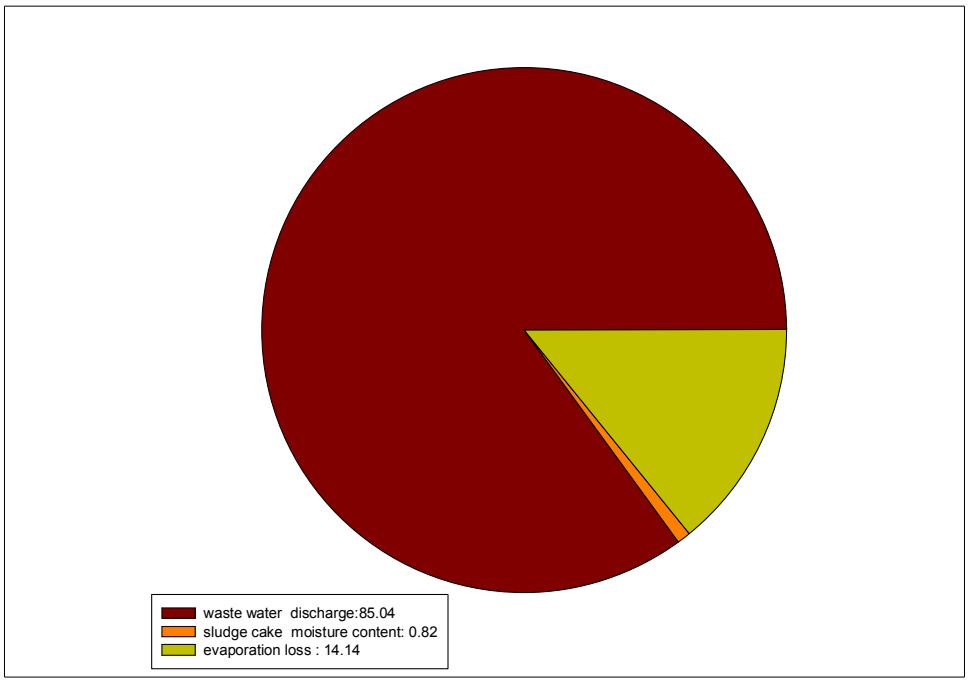

Fig. 32. Composition of out waster water.

Collection @ chosun

증발손실량은 폐수방류량의 16.63%에 달하는데 폐수가 증발 손실되지 않고 전량 방류처리 될 경우에 방류수의 BOD농도는 4.5mg/ℓ에서 3.75mg/ℓ로 낮아질 것으로 추정되며 생물학적처리조의 실제 BOD 분해율은 99.84% 보다 높은 99.86%로 개선 될 것으로 산출된다. 그러므로 관계기관의 폐수 지도단속 시 방류수의 실측 농도에서 16.63% 를 경감한 농도의 적용 검토가 필요하다.

Table 95와 같이 2008.6~12월까지 7개월간 장기폭기조의 수분 증발손실 량을 조사하였는데 조사방법은 장기폭기조에 폐수투입을 중단 한 후 10시간이 경과한 다음 침전조의 수면저하량을 실측하여 산정하였다.

수분증발량은 폭기조의 수온과 대기온도, 기압, 풍속 등 기상조건에 따라 달라지며 폭기조 평균수온은 27.7℃이고 Blower 송기량은 92.86,m^3/min인 조건에서 2.10m^3/Hr의 수분이 증발 손실되었다.

Table 95. Water loss due to evaporation

Month	Water temperature (℃)	Evaporation amount (ton/Hr)	Air blowing amount (m^3/min)
6	31.0	2.28	100.0
7	32.8	2.54	100.0
8	33.0	1.71	100.0
9	31.0	3.20	100.0
10	27.3	2.37	100.0
11	19.8	1.25	75.0
12	19.0	1.37	75.0
Average	27.7	2.10	92.86

Collection @ chosun

제12절 당 폐수처리 공정개선 효율[17,19,23,25,38,39,40,46~49,50,51)]

1. 공기 산화처리

생물학적 분해가 종료된 폐수는 최종 침전조에 이송된 후 비중이 무거운 활성슬러지 Floc은 침전이 되고 청정한 상등수는 배출이 된다. 침전된 슬러지의 90%정도는 활성슬러지조로 반송하여 F/M비 조정에 이용이 되며 10%정도의 슬러지는 잉여슬러지로 분리하여 농축조로 이송처리 한다.

잉여슬러지 제거율은 10% 이내로 유지될 경우에 폭기조의 일정한 MLSS 농도 유지가 가능하고 안정적인 생물학적 처리효율을 유지할 수가 있다.

침전조 하부에는 압축침전이 이루어지므로 MLSS 농도와 반송슬러지의 농축비는 1.0이상이며 슬러지층의 높이는 0.3~0.9m 이하일 때 효과적인 고액분리가 가능하다. 침전조로 월류되는 상등수는 직접 방류하거나 유량조정에 저장 후 중수도나 폐수처리공정의 약품용해 용수 또는 탈수기 세척수 등으로 재이용하게 된다.

일반적으로 폐수처리효율을 분석할 경우 최종침전조와 저류 후 최종 방류수와의 농도변화는 분석대상에서 제외되고 있으나 최종 유량조정조에서 폭기에 의한 공기산화로 제거되는 BOD 값은 5~10%로 추정되고 있다.

당 폐수를 처리하는 공정에서 공기산화율을 측정하기 위해 월류되는 처리수를 120m^3 용량의 2차 유량조정조에 저류한 다음 disk type 산기관 12개를 설치 폭기하여 DO 농도를 2~5mg/ℓ로 조정하는 과정을 거치게 하였다.

2차 유량조정조의 유효용량은 80m^3이며 평균체류시간은 4.8시간인 조건에서 유입수와 유출수의 농도를 2008,1~12까지 분석하여 공기산화 값을 측정하였다.

Table 96, 97, Fig. 33과 같이 유량조정조에서 체류시간은 3.0~13.0시간, DO 농도는 1.3~6.6mg/ℓ범위로 평균 3.4mg/ℓ인 조건에서, BOD 농도는 4.5mg/ℓ로 유입되어 3.1mg/ℓ로 유출되었고, SS 농도는 11.3mg/ℓ로 유입되어 7.0mg/ℓ로 유출되었다. 2차 유량조정조에서 공기주입에 의한 공기산화 효과는 BOD 31.1%, SS 38.1%이며, N-H 처리율은 21.2%, T-N 처리율은 25.2%, T-P 처리율은 40.3%로 조사되었다.

Collection @ chosun

Table 96. Treatment efficiency of air oxidation

Classification / Month	Water temp. (℃)	DO (mg/ℓ)	BOD(mg/ℓ)			SS(mg/ℓ)		
			Input water	Output water	Treatment rate (%)	Input water	Output water	Treatment rate (%)
1	19.7	4.3	15.6	11.0		39.2	25.1	
2	18.0	3.5	6.7	4.7		9.0	13.0	
3	19.8	3.1	12.3	7.5		11.0	8.6	
4	23.7	6.6	1.9	1.4		5.1	4.6	
5	26.0	4.0	3.1	2.9		15.0	7.1	
6	29.7	2.4	1.6	1.4		18.0	6.7	
7	31.8	1.5	2.6	2.1		7.8	4.5	
8	32.5	1.3	2.9	2.6		7.4	2.6	
9	29.8	2.6	2.1	1.1		4.9	1.4	
10	24.7	3.4	1.3	0.5		5.2	3.3	
11	17.9	4.3	2.3	1.6		5.5	4.1	
12	18.8	4.0	1.7	0.3		8.0	2.7	
Average	24.4	3.4	4.5	3.1	31.1	11.3	7.0	38.1

공기산화의 개념은 최종침전조 월류수의 오염물질 농도저감에 적용이 되므로 2차 유량조정조 설치비용과 처리수의 재사용 용도 등을 검토하여 5시간 이상의 체류시간이 주어질 경우 운전관리가 쉽고 난분해성 물질이 생성되지 않는 효과적인 무부하처리 방법으로 제안 할 수 있다.

공기산화율은 미분해 기질의 특성과 수온, DO농도, 2차 유량조정조 내 체류시간에 의해 달라진다. 공기산화조 운영을 위한 공기공급시설 설치비용은 장기폭기조 공급용 공기의 잉여분으로 충분하므로 추가 부담되지 않는다.

dCollection @ chosun

Table 97. Treatment efficiency of air oxidation

N-H (mg/ℓ)			T-N (mg/ℓ)			T-P (mg/ℓ)		
Input water	Output water	Treatment rate (%)	Input water	Output water	Treatment rate (%)	Input water	Output water	Treatment rate (%)
0.66	0.52	21.2	4.48	3.35	25.2	0.144	0.086	40.3

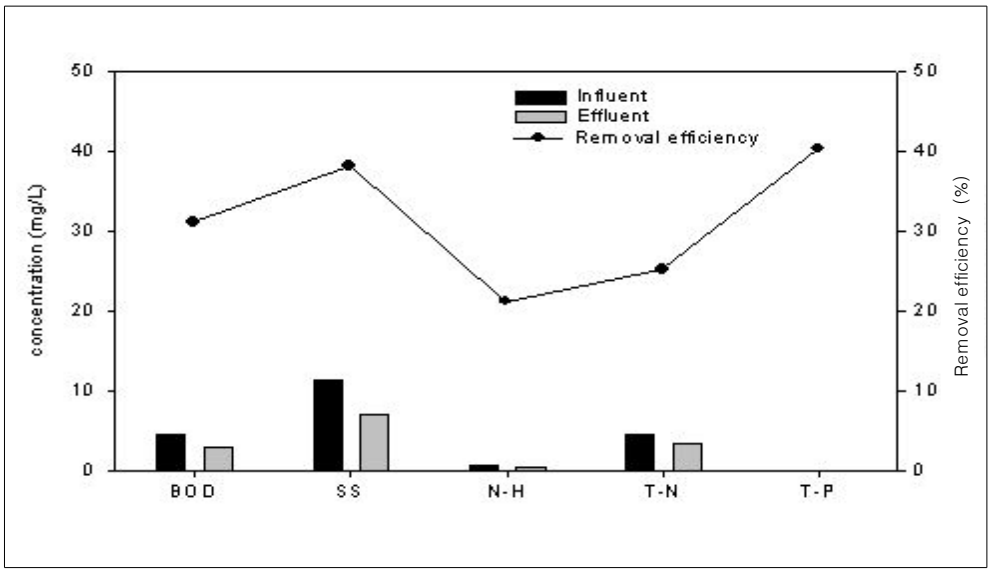

Fig. 33. Treatment rate of air oxidation.

2. 접촉 산화처리[17)]

장기폭기조에서 미생물분해 후 배출되는 유출수의 BOD농도는 4.5mg/ℓ, COD는 15.8mg/ℓ, SS는 11.3mg/ℓ, N-H는 0.66mg/ℓ, T-N는 4.48mg/ℓ, T-P는 0.144mg/ℓ의 평균값을 보이고 있으나 동절기와 하절기에는 처리효율이 불안정하다.

유기물질인 BOD와 COD, SS 농도는 내부적인 방류수질관리 목표인 3mg/ℓ를 초과하고 있으며, T-N, T-P 농도도 하천 부영양화에 기여하는 물질이므로 추가적인 후처리가 필요하다. 2007,1~12까지 2차 처리수를 350m^3 용량의 현수미생물접촉조에 유입하여 2차 생물처리를 한 후 처리효율을 분석하였다

Collection @ chosun

Fig. 34와 같이 HBC조에는 폴리염화비닐리덴 소재의 필라멘트실로 만든 바이오 링을 15cm 간격으로 8,900m를 충진하고 산기용 산기관은 산소전달율이 5%인 Ball Diffuser 44개를 설치하였다[17].

Fig. 34. HBC Bio-ring.

Table 98, 99와 같이 HBC조의 평균수온은 22.9℃이었으며, DO 농도는 4.6mg/ℓ이고 혼합액의 MLSS 농도는 2245mg/ℓ의 조건으로 운전되었다.

설치된 바이오 링의 직경은 30mm이며 활성슬러지 미생물이 급속히 부착되므로 최대직경 35mm 내외의 봉상으로 성장한다. 폭기조에 공급되는 산소는 바이오 링에 부착된 표면의 호기성균에게 전달되어 유기물이 분해되며 내부에서는 혐기성균에 의해 2차 분해가 이루어진다.

HBC조는 표면의 호기성 분해에 의해서 CO_2와 H_2O를 발생시키며 내부의 혐기성 상태에서 잉여슬러지가 분해되면 CH_4, H_2S, NH_4등의 가스를 방출함으로써 혐기, 호기 상호반응에 의한 미생물세포의 증식과 소화가 동시에 진행되는 경로를 이용하고 있다.

Fig. 35와 같이 HBC조에서 제거된 BOD 농도는 3.1mg/ℓ로 유입된 후 1.7mg/ℓ로 유출되어 45.2%의 처리율을 보였고 SS 농도는 14.8mg/ℓ로 유입하여 9.9mg/ℓ로 유출되어서 33.1%의 처리율을 보였다.

BOD 처리율에 비해 SS 처리율이 낮은 것은 바이오 링에 부착성장과정에서

dCollection @ chosun

혐기화되어 탈락한 미립자들의 침전성이 불량한 때문이며 1, 3, 4, 7월은 유출수의 SS가 유입수의 SS 보다 높게 배출이 되었다. N-H의 처리율은 13.8%로 낮았으나 T-N의 처리율은 50.0%, T-P의 처리율은 59.1%로 높게 나타났다.

Table 98. Contact oxidation treatment

Class. / month	Water temp. (℃)	DO (mg/ℓ)	MLSS (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)			SS (mg/ℓ)		
				Input water	Output water	Treatment rate(%)	Input water	Output water	Treatment rate(%)
1	15.8	8.8	1990	1.0	0.8		4.6	11.1	
2	18.0	6.0	2667	1.9	0.5		12.0	7.0	
3	19.0	2.4	2789	2.8	0.5		12.3	19.0	
4	22.9	1.5	2866	3.3	0.8		21.3	29.7	
5	25.8	0.9	2583	3.2	1.6		31.4	6.2	
6	28.8	4.2	2369	3.5	1.5		15.4	5.3	
7	30.9	5.2	1703	6.1	5.5		10.8	11.4	
8	32.6	3.7	2140	2.0	1.7		4.0	3.8	
9	27.3	3.2	1950	0.9	0.8		7.8	7.0	
10	21.4	4.7	1875	1.3	1.2		3.3	1.7	
11	17.1	6.0	2070	7.7	3.8		34.0	12.0	
12	15.2	7.0	1940	3.0	1.2		20.2	4.8	
Average	22.9	4.6	2245	3.1	1.7	45.2	14.8	9.9	33.1

Table 99. Contact oxidation treatment

N-H (mg/ℓ)			T-N (mg/ℓ)			T-P (mg/ℓ)		
Input water	Output water	Treatment rate (%)	Input water	Output water	Treatment rate (%)	Input water	Output water	Treatment rate (%)
0.65	0.56	13.8	2.58	1.29	50.0	0.298	0.122	59.1

Collection @ chosun

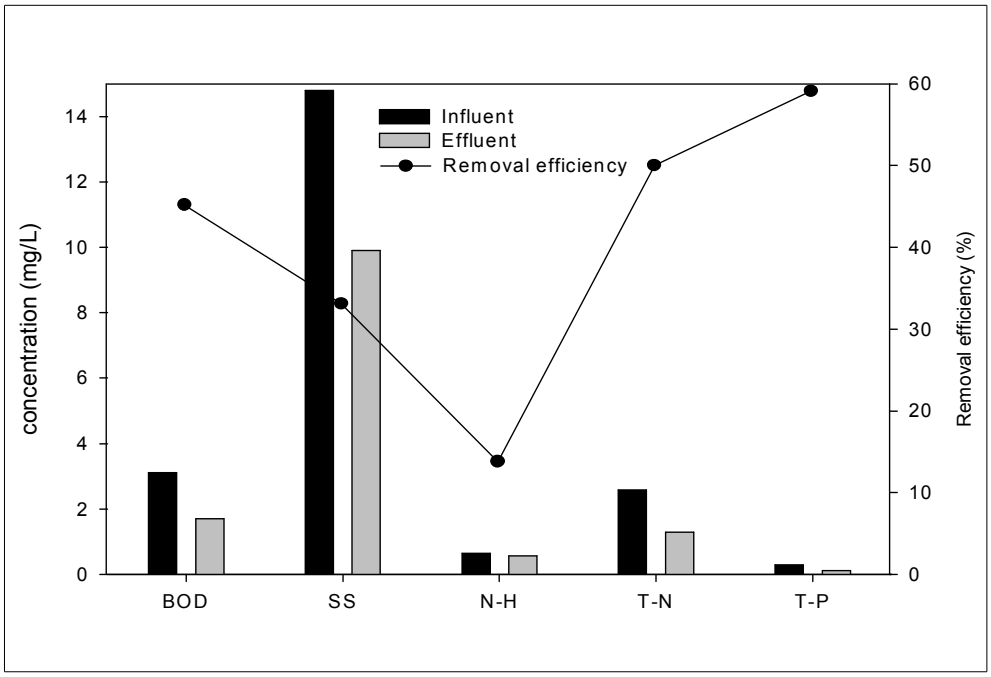

Fig. 35. HBC Treatment rate.

T-N과 T-P의 처리율은 공기산화조보다 높게 나타났으나 SS의 처리율은 공기산화조보다 낮게 나타나서 침전조의 겉보기 탁도가 증가하였다.

HBC조는 장기폭기조에서 유기물이 충분히 분해되었고 장기체류생성물인 난분해성 물질과 핀 플록 등이 유입되어서 생물분해조로써의 기능이 최상으로 유지되지 않음에 따라 BOD 처리율은 설계 값인 93% 에 미달하는 45.2%에 불과하였다. HBC조에 산소를 공급하기 위해서는 20Hp 용량의 Roots-Blower 2대의 설치가 필요하며 HBC조 바닥에는 115cm 높이로 혐기화된 슬러지층이 퇴적되어 있어서 Bio 링에 대한 공기공급과 유기물의 원활한 분해를 저해한다. 그러나 하부 퇴적슬러지와 링 내부 혐기화 된 층에 의해 T-N, T-P의 처리율은 상승하였다. 이에 따라 HBC조에서 순환되고 있는 활성슬러지 체류용적은 설계용적의 67.1%로 감소하였으며 바이오 링의 혐기화에 의해 탈락한 미립자가 부유하여 방류수의 백탁과 SS가 증가하는 문제가 발생하므로, 비용과 효율 면에서 당 폐수 유출수의 후처리 적용공정으로는 제시하지 않는다.

dCollection @ chosun

3. 공침처리[23,38,39,40,47)]

장기폭기조의 운전특성상 폭기조의 과도한 난류와 과부하, DO부족, N, P부족, 세제 등 독성물질이 유입되며 폭기조 후단에서는 기질부족에 의한 내성증식단계가 조성되므로 Floc의 해체 현상이 발생한다. 해체된 Floc 입자는 재 응집되지 않고 유출되므로 수질관리의 장애요인이 되며, 유출수의 BOD, SS, T-N, T-P 농도가 증가하게 된다.

장기폭기조에서 분산 해체되거나 자기 산화된 세포조각은 0.1㎛이하의 콜로이드 상태이거나 0.079㎜의 핀 프록 에쉬 상태로 입자가 작고 미세하여 침전조에서 중력 침전되지 않는다. 그러므로 유출수의 수질개선을 위해서는 인위적인 응집처리가 필요하다. 인위적인 응집처리방법은 무기응집제와 유기고분자 응집제의 첨가에 의해 활성슬러지 Floc을 강화시키며 부유상태의 입자성 물질과 응집제거가 용이한 휴믹 산, 조류 등을 활성슬러지 Floc에 고정시킴으로써 제거 할 수 있다.

응집제첨가법은 공침과 후침의 방법으로 구분하며 공침은 침전조에서의 슬러지 침전성개선과 잔류인의 제거목적으로 적용이 된다.[23)] 응집제의 투입지점은 1차 침전조 유출부, 활성슬러지 폭기조, 2차 침전조 유입부가 있으며 반송슬러지 유입부에도 투입 할 수가 있다.

후침은 2차 침전조 유출부에 응집제를 투입하는 방법으로 중화시설이나 침전조가 추가적으로 필요하다. 2차 침전조 유출수에 잔류하는 용해성물질이나 입자성 물질은 입경이 적고 비중이 가벼워 형성된 Floc도 가볍고 침전성이 양호하지 않다.

공침, 후침법에는 무기응집제로 황산반토, 황산철, PAC, 소석회 등이 이용되며 유기고분자 응집제가 보조적으로 사용된다.

Al 첨가에 의한 T-P제거 반응식의 예로는 $Al^{+3} + H_nPo_4^{3-n} \leftrightarrow AlPo_4 + {}_nH_T$이며, Fe 첨가에 의한 T-P제거반응식의 예로는 $Fe^{+3} + H_nPo_4^{3-n} \leftrightarrow FePo_4 + {}_nH_T$로서 염기성 다핵금속염에 의하여 폐수중의 불안정한 입자들은 불용성 Floc을 형성하여 제거된다.[23)]

1몰의 Al이나 Fe을 첨가 할 때 1몰의 인이 제거되나 실제 적용 시는 현장적용실험이 필요하고 이론양보다 2~3배 정도의 투입이 필요하다

Collection @ chosun

공침의 효율은 폐수중의 알칼리도, pH, 수온조건에 좌우되며 알칼리도가 40~50mg/ℓ일 때 Floc 형성이 촉진된다.[47)]

알칼리도는 OH^{-} + HCO_3^{-} + CO_3^{-2} 로 표시하며 응집반응의 큰 변수로 작용하는데 $CaCO_3$의 mg/ℓ 단위로 표시한다.

활성슬러지조의 알칼리도 증진을 위한 방법으로는 1차 화학처리 시 중화제로 사용하는 NaOH보다 최근 보급되기 시작한 20%의 액상 $Ca(OH)_2$를 사용하는 방법이 효과적이다

첨가하는 액상소석회의 일부는 응집반응 시 소진되지 않고 잔류하여 칼슘염의 형태로 활성슬러지조에 유입됨에 따라 알칼리도를 상승시켜 Floc 형성에 기여한다.

0.1㎛ 이하인 입자는 용해성이나 입자성이나 폐수 중에서는 동일한 성질을 띠므로 입자의 자력에 의한 응집제거가 곤란하다

이러한 미세한 입자의 증가는 활성슬러지 Floc의 성장을 저해하는데 응집제 첨가시는 pH가 저하되는 조건에서 Al, Fe과 착화합물을 형성하여 침전 제거된다.

무기응집제를 첨가할 때는 응집제중의 양전하가 폐수중의 음이온과 중화되는 응결작용이 발생하며 유기고분자 응집제를 첨가하면 가교에 의해 입경이 조대화 된 Floc이 형성되므로 침전성이 개선된다.

공침효과를 조사하기 위하여 2007.4.1~2007.6.26 까지 Jar -Test를 수행하여 100RPM의 급속교반 2분과, 50RPM의 완속교반 3분후 충분한 시료채수를 위해 2시간 동안 정치한 다음 상등수를 채수하여 처리효율을 분석하였다.

Table 100, 101과 같이 11% PAC 200mg/ℓ첨가 시 장기폭기조 전체의 COD처리율은 41.8%이며, 폭기조별 처리율은 1차 폭기조가 가장 높은 44.7%이고, 2차 폭기조는 39.8%, 3차 폭기조는 41.0%로 2,3차 폭기조는 근사 값을 보였다

SS의 전체처리율은 75.9%이며 1차 폭기조가 가장 낮은 69.5%이고, 2차 폭기조는 80.3%, 3차 폭기조는 85.7%로 후단으로 갈수록 응집처리율이 증가하였다.

dCollection @ chosun

Table 100. Co-precipitation treatment concentration after adding 200 mg/ℓ PAC

Class. / Days	Input water (mg/ℓ,COD)				Output water (mg/ℓ,COD)			
	1 Aerator	2 Aerator	3 Aerator	Average	1 Aerator	2 Aerator	3 Aerator	Average
4/21	88	68	46	67.3	30	30	11.3	23.8
4/28	27	18	16.7	20.6	16.7	12	12	13.6
5/2	45.3	22.7	16.7	28.2	31.3	14.7	12.7	19.6
5/13	10	8.7	8.0	5.9	5.3	5.3	4.7	5.1
5/15	32.0	8.8	6.4	15.7	18.4	6.8	5.6	10.3
5/20	15.2	10.0	8.4	11.2	12.0	8.0	6.8	8.9
5/22	29.3	8.0	8.0	15.1	16.8	6.4	3.2	8.8
5/24	33.3	14.4	12.4	20.0	19.6	13.2	11.2	14.7
5/27	16.7	10.8	9.2	12.2	9.6	7.6	6.4	7.9
5/30	24.0	12.0	10.4	15.5	15.2	8.8	8.0	10.7
6/4	8.8	8.4	6.4	7.9	4.0	4.0	4.0	4.0
6/6	10.8	9.6	6.8	9.1	6.9	4.6	4.0	5.2
6/7	8.3	7.4	7.1	7.6	5.4	5.1	4.6	5.0
6/10	11.0	8.0	7.5	8.8	5.8	4.8	4.8	5.1
6/12	11.8	7.3	6.8	8.6	8.8	6.8	5.3	7.0
6/13	12.8	6.8	6.0	8.5	6.0	4.3	3.8	4.7
6/16	10.0	8.5	6.3	8.3	6.0	4.0	3.5	4.5
6/20	18.5	9.8	7.5	11.9	11.0	5.3	4.0	6.8
6/24	11.0	8.8	7.0	8.9	4.8	4.5	4.3	4.5
6/26	14.3	9.0	6.3	9.9	8.5	4.3	3.8	5.5
average	21.9	13.3	10.5	15.2	12.1	8.0	6.2	8.8
Treatment rate (%)					44.7	39.8	41.0	41.8

dCollection @ chosun

Table 101. Co-precipitation treatment concentration after adding 200mg/ℓ PAC

Class. / Days	Input water (mg/ℓ,SS)				Output water (mg/ℓ,SS)			
	1 Aerator	2 Aerator	3 Aerator	Average	1 Aerator	2 Aerator	3 Aerator	Average
4/21	22	3	3	9.3	16	0	0	5.3
4/28	13	9	6	9.3	7	3	1	3.7
5/2	27	6	1	11.3	10	0	0	3.3
5/13	4	3	3	3.3	2	1	0	1
5/15	24	9	4	12.3	10	2	1	4.3
5/20	6	1	0	2.3	0	0	0	0
5/22	13	5	0	6.0	3	0	0	1.0
5/24	18	2	2	7.3	0	0	0	0
5/27	7	2	0	3	0	0	0	0
5/30	12	8	3	7.7	4	4	2	3.3
6/4	6	3	3	4	0	0	0	0
6/6	5	5	4	4.7	1	0	0	0.3
6/7	5	4	4	4.3	0	0	0	0
6/10	11	8	7	8.7	2	2	1	1.7
6/12	7	5	5	5.7	4	4	2	3.3
6/13	13	5	4	7.3	2	1	0	1
6/16	17	14	10	13.7	6	3	2	3.7
6/20	33	29	17	26	7	4	2	4.3
6/24	6	6	5	5.7	2	0	0	0.7
6/26	6	5	3	4.7	1	1	0	0.7
average	12.8	6.6	4.2	7.9	3.9	1.3	0.6	1.9
Treatment rate (%)					69.5	80.3	85.7	75.9

dCollection @ chosun

Table 102, 103과 같이 11% PAC 100mg/ℓ 첨가 시 장기폭기조 전체의 COD 처리율은 35.6%이며 폭기조별 처리율은 1차 폭기조가 36.8%, 2차 폭기조가 40.0%, 3차 폭기조가 29.4% 이었다.

Table 102. Co-precipitation treatment concentration after adding 100mg/ℓ PAC

Class. / Days	Input water(mg/ℓ,COD)				Output water (mg/ℓ,COD)			
	1 Aerator	2 Aerator	3 Aerator	Average	1 Aerator	2 Aerator	3 Aerator	Average
6/4	8.8	8.4	6.4	7.9	4.4	4.4	4.4	4.4
6/6	10.8	9.6	6.8	9.1	7.1	5.1	4.9	5.7
6/7	8.3	7.4	7.1	7.6	6.0	5.4	5.1	5.5
6/10	11.0	8.0	7.5	8.8	7.0	5.5	5.3	5.9
6/13	12.8	6.8	6.0	8.5	8.3	4.8	4.5	5.9
6/16	10.0	8.5	6.3	8.3	6.5	5.3	4.8	5.5
6/20	18.5	9.8	7.5	11.9	12.5	5.5	5.0	7.7
6/24	11.0	8.8	7.0	8.9	5.3	4.8	4.5	4.9
6/26	14.3	9.0	6.3	9.9	9.3	5.3	4.3	6.3
Average	11.7	8.5	6.8	9.0	7.4	5.1	4.8	5.8
Treatment rate (%)					36.8	40.0	29.4	35.6

SS의 전체처리율은 58.0%이며 1차 폭기조가 49.6%, 2차 폭기조가 61.4%, 3차 폭기조가 66.7% 로서 PAC 200mg/ℓ 첨가 시 보다 처리효율이 낮았다.

이에 따라 당 폐수의 공침처리를 위해서는 11% PAC 200mg/ℓ의 첨가 값이 유효하였다.

dCollection @ chosun

Table 103. Co-precipitation treatment concentration after adding 100mg/ℓ PAC

Class. / Days	Input water (mg/ℓ,SS)				Output water (mg/ℓ,SS)			
	1 Aerator	2 Aerator	3 Aerator	Average	1 Aerator	2 Aerator	3 Aerator	Average
6/4	6	3	3	4	1	1	1	1
6/6	5	5	4	4.7	2	1	1	1.7
6/7	5	4	4	4.3	3	2	1	2
6/10	11	8	7	8.7	6	5	3	4.7
6/13	13	5	4	7.3	6	4	2	4.0
6/16	17	14	10	14	9	7	4	6.7
6/20	33	29	17	26	17	5	4	8.7
6/24	6	6	5	5.7	2	2	2	2
6/26	6	5	3	4.7	5	4	1	3.3
Average	11.3	8.8	6.3	8.8	5.7	3.4	2.1	3.7
Treatment rate (%)					49.6	61.4	66.7	58.0

Table 104. Fig. 36과 같이 2차 침전조 유입구에 11% PAC를 평균 249mg/ℓ 첨가한 후 슬러지 침전성 개선결과를 보면 PAC 첨가 7일후 SV는 91%에서 85%로 감소하기 시작하였고, SVI도 148에서 124로 감소하기 시작하였다.

PAC 첨가 15일후 SV는 56으로 감소하였으며 SVI는 83으로 감소하여 침전조의 슬러지 침전성이 양호하였고 침전된 슬러지층의 높이는 24cm로 측정되었다. 그 결과 침전조 하부에 슬러지가 분산 침전되는 현황이 Fig. 41과 같이 육안에 의해 선명하게 관측되었다.

dCollection @ chosun

Table 104. SV_{30} Improvement after adding 249mg/ℓ PAC

Class. / Days	Water temp. (℃)	D O (mg/ℓ)	I-Aerator volume load	PAC added concentra-tion (mg/ℓ)	Circulat ory flow amount (m^3/day)	SV30	SVI
3/26	24	0.7	0.88	245	920	91	148
3/27	24	0.7	0.92	221	1020	90	146
3/28	24	0.5	1.13	208	1080	99	147
3/29	24	0.2	1.24	226	995	92	142
3/30	24	0.8	1.05	205	1100	89	141
3/31	24	0.5	1.36	247	910	90	138
4/1	23	0.6		296	760	90	135
4/2	23	1.0		259	870	85	124
4/3	23	1.0		227	990	87	122
4/4	23	0.9	2.77	248	910	79	118
4/5	23	0.9	2.17	245	920	80	119
4/6	23	0.9		298	855	82	118
4/7	23	0.8		280	805	80	121
4/8	24	0.8		269	835	80	117
4/9	24	0.9	1.50	271	830	58	87
4/10	24	1.0	2.19	243	928	56	83
Average	23.6	0.8		249	920		

Collection @ chosun

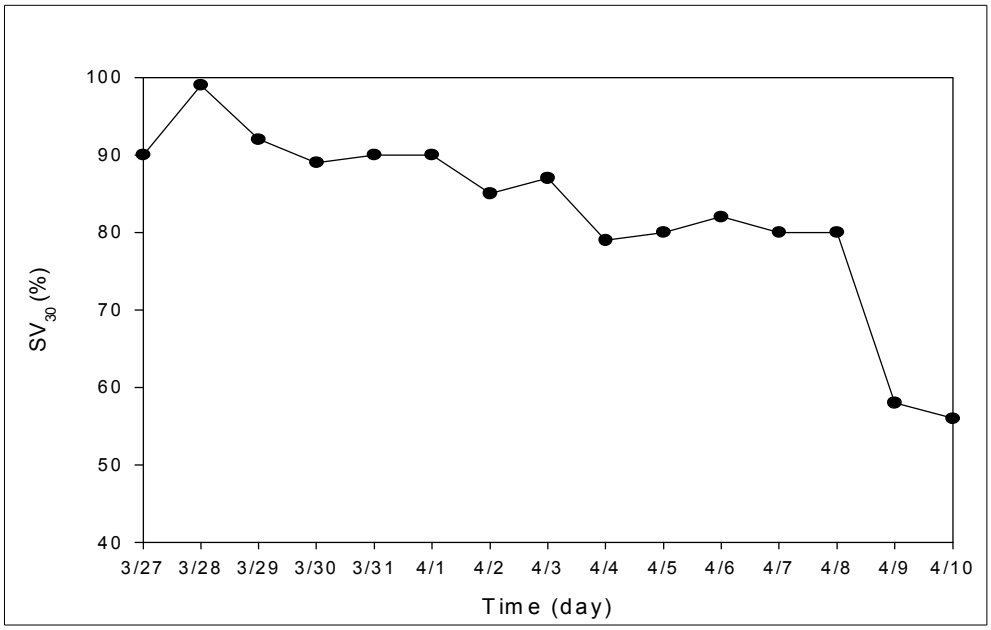

Fig. 36. SV_{30} Change after co-precipitation.

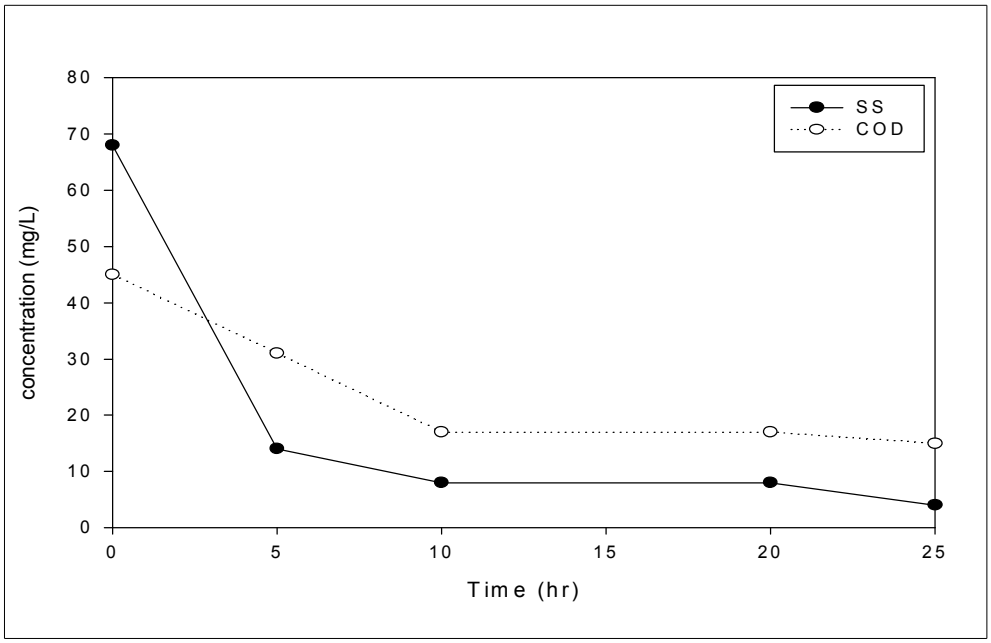

Fig. 37. Improvement effect by time passage PAC 360mg/ℓ.

Collection @ chosun

Fig. 37과 같이 2차 침전조 유입부에 11% PAC 360mg/ℓ를 첨가한 후의 수질개선경과를 보면 PAC 첨가 5시간 후 침전조의 상등수가 현저하게 청정해지기 시작했으며 COD 농도는 31.1%, SS 농도는 79,4% 개선되는 효과가 나타났다. 10시간 후는 유입 COD의 62.2%, 유입 SS의 88.2%가 개선되었으며, 20시간 후는 유입 COD와 SS의 감소율이 변화하지 않았다. 25시간 후는 유입 COD의 66.7%, 유입 SS의 94.1%가 제거되는 효과가 나타났으며 청정한 방류수질이 유지되었다.

Fig. 38과 같이 11% PAC를 180mg/ℓ 첨가 시에는 첨가 5시간 후에 COD 16.7%, SS 15.8%가 개선되었으며 10시간 후는 COD 26.7%, SS 28,9%, 20시간 후는 COD 33.3%, SS 39.5%가 제거되었으나 PAC 200mg/ℓ 첨가 시 보다 1/2 정도로 낮게 개선되었다.

Jar-Test시 COD 44.7%, SS 75.9%를 제거하기 위해 11% PAC 200mg/ℓ를 첨가한 값보다 2차 침전조 유입부에 PAC를 1.8배 직접 첨가한 경우 COD 제거율 66.7%, SS 제거율이 94.1%로 나타난 것으로 볼 때 Jar-Test 값보다 실제 적용 값은, 현장실험에 의한 산출이 정확한 것으로 판단되며 당 폐수처리장의 수질개선을 위한 처리공정으로 공침법이 유효함을 이해 할 수 있다[38].

2차 침전지 유입부에 360mg/ℓ의 11% PAC를 첨가할 경우 pH 저하 값은 0.3~0.5 범위에 그치므로 활성슬러지 미생물의 증식에 영향을 미치지 않는다.

Fig. 39와 같이 2차 침전조 유입부에 11% PAC 180mg/ℓ를 첨가했을 경우는 첨가 7일후에는 11% PAC 360mg/ℓ 첨가 20시간 후의 처리율과 유사한 값을 나타내었다.

Fig. 40, 41과 같이 공침후의 Floc은 공침전과 비교해 조대화된 Floc이 형성되었으며 Fig. 42, 43과 같이 공침 전에 비해 공침 후의 침전조 상등수 상태는 매우 청정한 상태로 개선되었다.[39,40]

Collection @ chosun

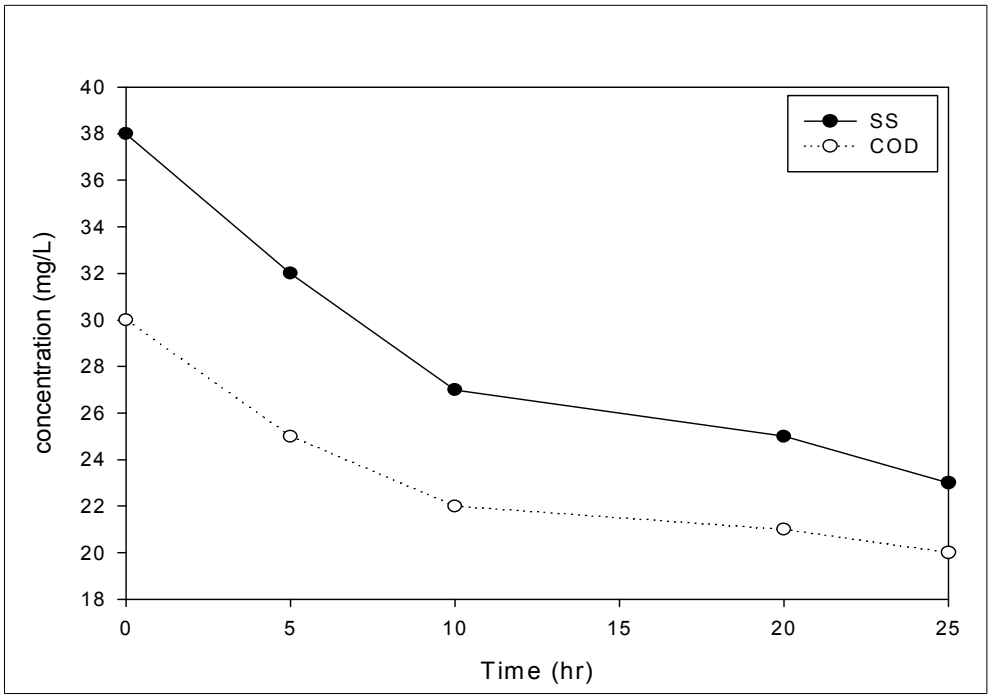

Fig. 38. Improvement effect by time passage PAC 180mg/ℓ.

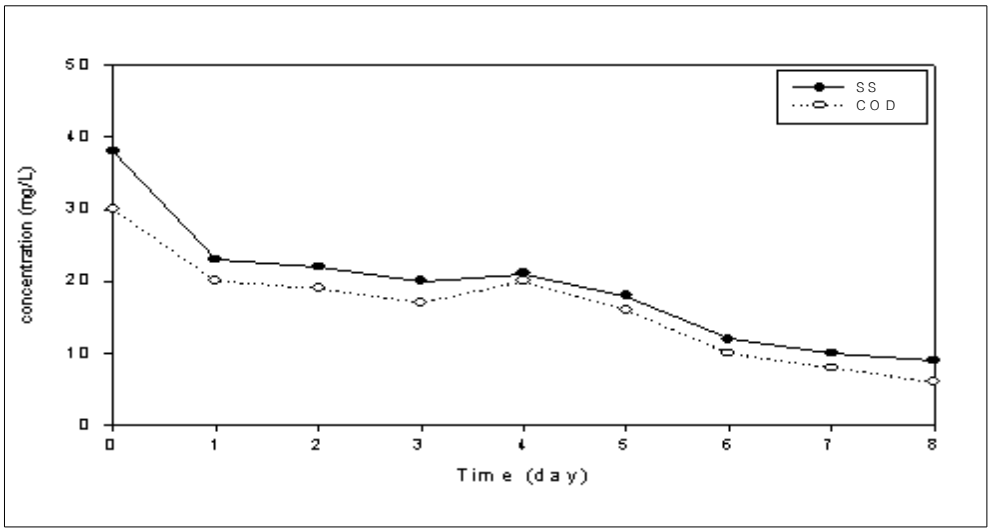

Fig. 39. Improvement effect by day passage PAC 180mg/ℓ.

Collection @ chosun

Fig. 40. Floc before co-precipitation.

Fig. 41. Floc after co-precipitation.

Collection @ chosun

Fig. 42. Sinking tank before co-precipitation.

Fig. 43. Sinking tank after co-precipitation.

Collection @ chosun

4. 수질악화 경과분석

2차 침전조 유입부에 공침처리를 위한 360mg/ℓ PAC 투입을 전면 중단후의 유출수의 시간별 수질악화 경과를 조사하였다

Fig. 44와 같이 PAC 투입중단 5시간 후의 COD 농도는 중단전의 188%로, SS 농도는 220%로 급속히 악화되었다. 10시간 후의 COD는 200%, SS는 227%로 증가되었으며 25시간 후의 COD는 224%로, SS는 260%로 증가함에 따라 2차 침전조 유출수의 최적관리를 위해서는 PAC 첨가에 의한 공침처리가 유효한 처리방법으로 인정되었다.

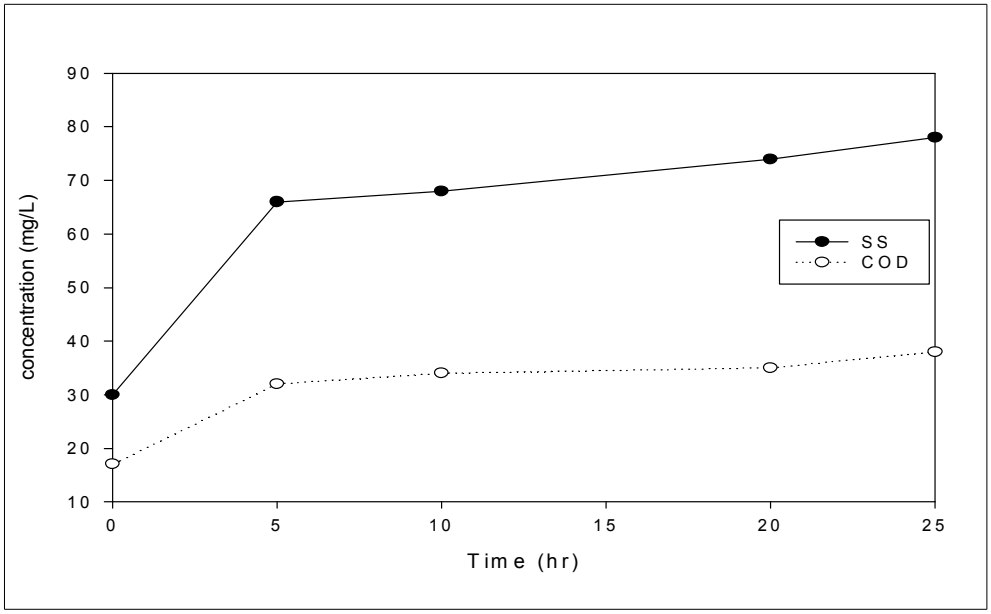

Fig. 44. Water quality deterioration by hour.

Collection @ chosun

5. 감람석 여과처리 효율[41)]

1) 감람석 성상

감람석은 건설현장에서 골재로 사용하는 천연암석이며 감람석채굴 주변 하천 등에서는 수질정화효과가 있는 것으로 알려져 있다.

특히, 인 제거 효과가 있어서 하천부영양화를 예방 할 수 있는 특성이 있다. 감람석을 이용한 하·폐수의 2차 처리수 여과처리를 위해서는 원석을 파쇄하여 입경을 1.0~5.0mm로 만들게 된다. 0.075~0.15mm 입경으로 분쇄한 감람석은 세척하여 미립자를 제거한 후 건조하여 여재로 가공한다.

Table 105와 같이 감람석은 MgO 성분을 다량 함유하며 pH 9.1~9.5 정도의 약 알칼리성이다. 분쇄된 감람석은 표면적이 넓으므로 인의 흡착제거가 용이하며 미세한 입경의 감람석을 하·폐수처리에 적용한 후 여과효율이 저하되면 교체하여 인을 회수하거나 복토재 등으로 재사용이 용이하고 단가가 50,000원/M^3으로 저렴한 장점이 있다.

Table 105. Composition of olivine.

Items	SiO_2	CaO	MgO	FeO_2	Al_2O_3
Concentration (%)	39.0	3.3	35.0	11.2	1.5

오염하천의 하상 수질정화를 위해 도입한 역간접촉산화법은 자갈을 이용하고 있어서 수중의 유기물과 부유물의 제거는 이루어지나 인 제거는 어렵다.

Fig. 45, 46과 같이 당 폐수 방류수의 추가처리를 위한 감람석 여과장치는 130ℓ 용적의 여과탑과 폐수투입용 정량펌프, 유량계, 역세척 펌프 등을 제작하였고, 여과탑 용적의 50%인 65ℓ의 감람석을 충진하였다.

하향류식 운전으로 여재 통과속도를 15분, 30분, 60분으로 한 후 pH, COD, SS, T-N, T-P의 처리효율을 조사하였다. 여과가 진행되면 감람석 표면은 $Mg_3(PO_4)_2.22H_2O$, $Fe_3(PO_4)_2.(OH)_2$, $MgHPO_4.3H_2O$, $Fe(PO_4)$등의 형태로 입자가 성장한다.[41)] 1일 8시간 여과처리 시 10~14일 간격으로 역세척이 필요하였다.

Collection @ chosun

Fig. 45. Olivine filtering media.

Fig. 46. Olivine filter.

dCollection @ chosun

2) 여과 처리결과

Table 106, Fig. 47과 같이 감람석여과기에 의한 15분 여과시간 유지 시는 pH가 0.20 상승하였는데 이것은 감람석 구성물질인 MgO 등의 용출에 의한 것이다. COD는 12.9%, SS는 16.5%, T-N은 5.4%, T-P는 7.6% 의 저조한 처리효율이 분석되었다.

Table 106. Filtering efficiency of olivine

Class. / Days	Input water (mg/ℓ)					Output water (mg/ℓ)					Time
	pH	COD	SS	T-N	T-P	pH	COD	SS	T-N	T-P	15 min.
5/14	7.75	24.5	20.4	20.43	0.07	7.79	22.4	18.4	20.34	0.05	
5/15	7.54	27.9	40.0	22.76	0.05	7.80	25.6	34.0	22.35	0.04	
5/17	7.70	24.2	20.8	16.83	0.02	7.81	19.7	15.3	16.65	0.02	
5/18	7.55	17.5	12.4	14.85	0.11	7.75	16.2	11.1	7.92	0.02	
5/21	7.49	12.5	5.6	3.20	0.01	7.53	12.1	5.0	2.75	0.01	
5/22	7.39	9.5	3.2	1.13	0.07	7.46	8.7	2.9	0.98	0.06	
5/23	7.55	14.9	4.0	1.01	0.15	7.62	13.7	3.8	0.98	0.08	
5/25	7.00	12.9	5.2	17.75	16.81	7.18	10.1	4.7	17.21	14.99	
5/26	6.98	15.1	3.7	8.59	17.46	7.12	13.3	3.1	7.39	16.55	
5/28	7.39	13.7	3.9	11.32	15.60	7.50	12.5	3.2	7.72	14.02	
5/29	7.39	13.4	3.4	19.72	6.63	7.46	12.2	2.7	18.74	6.07	
5/30	7.31	14.2	5.1	25.39	3.12	7.41	12.6	4.2	25.73	2.86	
5/31	6.91	11.5	4.8	32.16	16.64	6.89	10.4	4.1	31.37	15.38	
6/1	7.04	8.4	3.9	24.41	18.80	6.96	7.5	3.0	23.96	17.2	
6/4	6.85	6.7	4.2	18.63	16.46	6.95	6.0	3.4	18.52	15.59	
6/5	6.71	7.3	3.2	21.79	17.24	6.71	2.7	2.6	21.47	16.34	
6/7	7.43	7.2	3.4	23.32	4.71	7.47	6.6	2.8	23.21	4.42	
6/8	7.40			19.28	12.61	7.29			18.96	11.44	
6/11	7.51	8.1	5.6	16.01	4.26	7.36	6.31	3.4	14.48	3.90	
6/12	7.39			28.01	4.94	7.28			27.36	4.91	
Average	7.31	13.9	8.5	17.33	7.79	7.51	12.1	7.1	16.10	7.20	15 min.
Treatment rate (%)						2.7	12.9	16.5	5.4	7.6	

Collection @ chosun

Table 107. Filtering efficiency of olivine

Class. / Days	Input water (mg/ℓ)					Output water (mg/ℓ)					Time
	pH	COD	SS	T-N	T-P	pH	COD	SS	T-N	T-P	30 min.
6/20	7.57	10.7	7.6	5.40	11.70	7.58	9.1	0.4	5.27	5.03	
6/21	7.51	12.1	11.6	7.18	10.44	7.59	10.2	4.2	4.45	9.36	
6/22	7.41	9.4	7.9	6.96	10.27	7.45	8.0	1.8	4.78	9.23	
6/25	7.69	10.3	8.4	7.39	10.44	7.72	8.9	2.1	6.74	9.36	
6/26	7.43	9.7	7.1	6.96	10.13	7.47	8.1	1.6	6.63	8.34	
6/27	7.38	11.1	5.9	6.30	9.48	7.42	9.4	1.4	5.87	8.25	
6/28	7.45	10.7	7.4	6.96	9.82	7.48	9.7	1.7	6.08	8.45	
6/29	7.37	9.8	10.0	7.12	9.78	7.45	8.9	2.4	6.11	8.02	
6/30	7.41	10.8	9.4	7.14	9.84	7.48	8.6	2.2	6.02	8.27	
average	7.47	10.5	8.4	6.82	10.21	7.52	9.0	2.0	5.77	8.26	30 min.
Treatment rate (%)						0.7	14.3	76.2	15.4	19.1	

dCollection @ chosun

Table 108. Filtering efficiency of olivine

Class. / Days	Input water (mg/ℓ)					Output water (mg/ℓ)					Time
	pH	COD	SS	T-N	T-P	pH	COD	SS	T-N	T-P	60 min.
7/11	7.61	7.8	6.0	0.91	0.07	7.71	5.0	1.0	0.45	0	
7/12	7.78	8.0	6.0			7.81	4.0	0			
7/13	7.50	9.0	7.0			7.56	5.5	0			
7/14	7.45	8.4	8.0	5.69	0.08	7.47	5.0	0	5.12	0	
7/15	7.58	8.8	6.0			7.60	6.8	0			
7/18	7.49	10.2	6.0	4.24	0.20	7.56	8.6	0	3.70	0.11	
7/19	7.52	10.2	11.0			7.53	8.8	2.0			
7/22	7.57	10.0	2.0			7.69	7.6	0			
7/23	7.52	10.2	9.0			7.61	9.4	1.0			
7/24	7.54	10.0	9.0			7.74	8.6	5.0			
7/25	7.54	14.5	15.0	24.75	0.11	7.71	12.8	1.0	22.82	0.06	
8/5	7.78	14.0	14.0	34.12	0.14	8.21	11.6	5.0	25.85	0	
8/6	7.74	12.8	11.0	22.25	0.07	7.95	9.2	5.0	21.71	0	
8/7	7.72	13.2	12.0	22.97	0.05	8.09	8.0	6.0	21.51	0	
8/8	7.68	13.2	5.0	22.20	0.12	7.94	8.8	1.0	15.78	0	
8/13	7.63	10.4	8.0	35.11	0.07	7.90	9.2	3.0	31.15	0.01	
8/14	7.41	8.0	4.0	3.60	0.09	7.73	6.0	0	2.81	0	
8/15	7.46	6.0	7.0	0.92	0.06	7.74	4.8	0	0.79	0	
8/16	7.42	7.6	3.0	1.07	0.05	7.69	4.0	0	0.62	0	
8/18	7.59	7.1	8.0	8.58	0.08	7.81	5.4	2.0	5.70	0.04	
8/19	7.60	9.4	7.0	19.39	0.16	7.65	8.3	2.0	18.12	0.10	
8/21	7.53	8.9	8.0	1.87	0.08	7.72	6.6	1.0	1.60	0.03	
8/22	7.45	8.0	7.0	0.59	0.08	7.54	5.7	0	0.53	0.06	
8/26	7.62	11.7	7.0	26.44	0.09	7.80	10.3	1.0	23.01	0.06	
8/27	7.67	10.6	7.0	27.41	0.08	7.69	10.3	0	24.83	0.05	
8/28	7.64	15.4	6.0	32.20	0.08	7.66	12.6	0	30.37	0.05	
9/1	7.63	21.7	4.0	23.64	0.08	8.07	19.1	0	20.97	0.06	
Average	7.58	10.6	7.5	11.78	0.07	7.75	8.2	1.3	10.28	0.02	60 min.
treatment rate (%)						2.2	22.6	82.7	12.7	71.4	

Collection @ chosun

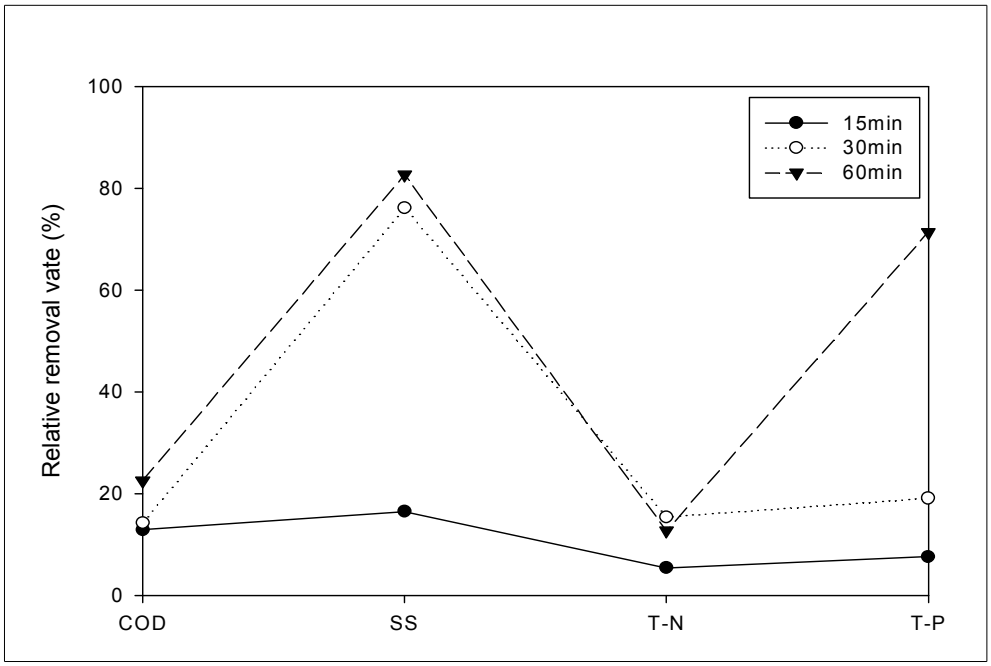

Fig. 47. Filtering efficiency of olivine.

Table 107과 같이 30분간 여과 시는 pH가 0.05 상승에 그쳤는데 이것은 15분 여과종료 후 여재 교체 없이 30분 여과를 진행한 결과이며, COD는 14.3%, SS는 76.2%, T-N은 15.4%, T-P는 19.1%로 처리효율이 증가하였고, Table 108과 같이 60분 여과시간 유지 시는 pH가 0.17, COD는 22.6%, SS는 82.7%, T-N은 12.7%, T-P는 71.4%로 처리율이 증가하였다.

여과시간 연장에 따라 COD는 12.9%에서 22.6%로 SS는 16.5%에서 82.7%로 T-N은 5.4%에서 12.7%로, T-P는 7.6%에서 71.4%로 증가하는 것으로 볼 때 감람석 여과 탑의 여과시간은 60분 이상을 유지 할 것이 요구 된다. 이에 따라 당 폐수 2차 처리수의 후처리 공정으로써 적용이 유효하다.

Collection @ chosun

6. Sludge-Bulking 개선 효율[19,32,42~48,51)]

1) Bulking 발생이론

활성슬러지조에서 Bulking이 발생하는 경우는 과부하 운전, N, P부족, DO 부족, 독성물질유입, 수온변화, 과도한 Floc해체 등에 기인한다.[42~45)] Bulking을 잘 일으키는 Sphaerotilus는 적정증식 하한수온은 8~15℃이고 상한수온은 37~40℃ 범위이다. 당 폐수처리 공정에서 Bulking은 5, 8월 등 하절기와 1~2월 동절기에 주로 발생한다. 동절기에 활성슬러지조를 보온처리하지 않을 경우 수온이 7~8℃로 떨어지게 되면 활성슬러지 미생물의 활성이 감소하고 사상균이 우점화하므로 Bulking이 발생하게 된다.

유입기질 중 당류와 에탄올, 유기산 등이 많은 폐수는 생물분해가 쉬운 반면에 폭기조 후단에서는 기질부족에 의한 벌킹 발생요인이 된다.

당 폐수처리공정에서는 과부하에 의한 수질악화현상을 동반한 점액성 Bulking이나 사상성 Bulking이 발생한다. 또한 기질농도 변화에 대응이 느리게 되면 N, P 부족에 의한 Bulking이 발생하기도 한다.

원폐수를 화학적처리 할 경우 중화제로 사용하는 H_2SO_4의 "S"도 독성작용을 하여 Bulking을 일으키는 원인이 되기도 한다.

Bulking 현상은 슬러지의 압밀성이 감소하거나 사상균의 과도한 증식, 폭기조의 점성증가에 의해 발생하는데 사상성 Bulking은 F/M비가 0.5 이상이거나 너무 낮을 때 완전혼합형 폭기조에서 자주 발생한다.[19)]

사상균은 유독물에 강한 특성이 있고 Floc 형성균보다 N, P 기질 등의 섭취속도는 빠르나 원생동물은 포식하지 않으므로 처리수질의 악화된다.

사상균에 의한 Bulking이 발생하면 사상균은 폐수중의 다중인산염을 세포내에 흡수저장하지 않으므로 인 제거율이 저하된다.[32)]

사상균은 혐기성조건에서도 체내 인 대사활동이 진행되지 않으므로 세포밖으로 인을 방출하지 않기 때문에 사상체의 증식이 용이하다.

폭기조에 유입하는 기질 중에 탄수화물인 글루코스나 슈크로스, 락토스 등은 단당류로써 단당류를 잘 분해하는 Bulking균인 Sphaenotilus 나 Nators가 쉽게 분해하여 자화되는 당류를 에너지원으로 이용해서 증식함으로 사상

Collection @ chosun

체의 증식이 촉진된다.[19]

그러나 단백질, 전분 등은 불용성고분자 물질로써 사상균에 의한 분해력이 저조하므로 사상성 Bulking 발생원이 되지 않는다. 당 폐수의 기질인 전분이나 고분자당류를 분해하여 Bulking을 일으키는 사상균은 바실리우스가 있다.

폭기조의 DO 농도가 2.0mg/ℓ 이하일 때 직경 500㎛인 활성슬러지 Floc 내부까지는 산소공급이 충분치 않으므로 Floc 중심의 DO 농도는 0.1mg/ℓ이하로 저하되어서 사상균이 우점, 증식할 수 있다.

사상균이 증식하게 되면 우점 1주일 후부터 SVI가 변화하기 시작하며 사상균 총길이가 1mg의 SS당 10^7㎛까지 커졌을 때까지는 침전성의 변화가 적으나 10^7㎛를 초과하게 되면 침전성이 급격히 악화되는 것으로 알려져 있다.[51]

우점화한 사상체는 활성슬러지 Floc 외부로 뻗은 사상균체가 서로 엉켜서 슬러지의 침전성을 방해하는 Bridging effect 현상과 사상체가 증식하면서 Floc 형성균과 같이 성장하는 과정에서 Floc을 흐트러트리는 open floc structure 현상을 일으키는데 Open Floc Structure 현상이 나타나면 사상체가 잘 보이지 않기 때문에 비 사상성 Bulking으로 분류하기도 한다.[51]

사상성 Bulking이 발생할 경우에는 방선균이 증식하여 폭기조 전면에 황갈색거품이 과도하게 생성하여 MLSS의 유실과 처리수질 악화를 일으키게 된다.[46,47]

점액성 Bulking은 N, P부족이나 과부하 유입조건에서 세포내에 당류인 점액성 고분자 물질이 축척됨에 따라 세포 밖으로 배출이 증가하는 점액성 물질이 젤리 같은 형태의 슬라임슬러지를 생성한다.

미생물이 세포외부로 배출하는 점액성물질인 바이오폴리머는 친수성을 띠고 있어서 활성슬러지 Floc의 함수율이 증가하고 Floc 자체의 고유비중을 감소하는 현상이 나타나므로 함수팽화로 불리기도 한다.[32]

점액성 Bulking이 발생하면 Floc의 압밀성이 낮아져서 저밀도 상태가 되므로 침전성이 떨어져서 침전조 전면으로 슬러지가 부상하게 되며 침전조 월류 Weir의 수평이 고르지 않을 경우 특정부위로 월류량이 집중하여서 슬러지의 유출속도가 증가하게 된다.[48]

N, P부족에 의한 Bulking은 점액성 Bulking을 일으키는데 C의 하한농도가

dCollection @ chosun

1~10mg/ℓ이고 C/N비가 0.1일 경우에 발생하게 되며 N의 하한농도는 0.5~10mg/ℓ, N의 상한농도는 100mg/ℓ일 것이 제시되고 있다.[19)]

폐수 중의 P는 Bulking에 미치는 영향이 불분명한 것으로 알려져 있다. 활성슬러지 미생물은 저분자 물질을 섭취한 후 세포내에서 유기물질을 산화하여 안정화한 다음 N, P를 이용하여 미생물세포인 단백질과 핵산성분을 합성함으로써 세포가 증식하게 된다.

그러나 폭기조 내에 N, P가 부족하게 되면 세포내에 섭취저장중인 유기물을 세포증식에 이용하지 못한 채 고정성 다당류 형태로 다량 축척이 되기 때문에 고 점성 Bulking을 일으키게 된다.

DO 부족에 의한 Bulking의 사상균은 절대호기성균이므로 세포내 DO 축척율이 높아서 혐기성 조건에서도 내생포자를 형성해서 활성을 유지하고 DO가 증가하게 되면 급속히 증식을 하게 된다.

DO가 부족한 여건에서 표면적이 큰 사상균은 Floc 형성균과 DO 섭취를 위한 경쟁에서 유리한 상태이므로 우점증식이 가능하다.

DO 부족에 의한 Bulking을 예방하기 위해서는 DO 농도를 2mg/ℓ이상으로 유지해야 하며 SRT를 낮게 유지하면 증식속도가 느린 사상균이 유출되므로 폭기조 내 사상균이 감소하게 되어 Bulking을 해소 할 수가 있다.[19)]

2) Bulking 개선 효과

Fig. 48과 같이 2007, 6에 발생한 Bulking은 과부하 유입 N, P부족, 폭기조 고수온 현상에 의해 발생하였으며, 사상체의 증식은 활발하지 않았으나 분산성 Floc 성장으로 SV_{30}이 100%이고 SVI는 121~155로 유지되어 침전성이 악화됨으로써 침전조 전면에 슬러지가 부상하는 점액성 Bulking이 발생하였다. 부상슬러지는 침전조 수면 10cm 높이까지 떠올랐으며 슬러지의 유출직전 상태가 조성되어서 폐수처리를 중단해야 할 상태가 발생하였다.

침전조의 슬러지가 150cm 이상으로 부상한 것은 5월초부터 발생하였으며, 1차 조치로 침전성의 개선을 위해 폭기조에 PAC 와 황산반토를 각기 1,134~2,836mg/ℓ의 농도로 첨가하였으나 침전조의 슬러지 부상은 개선되지 않았다.

Collection @ chosun

Fig. 48. Sludge - Bulking.

폭기조에는 응집제 과량첨가로 pH가 5.3까지 떨어져서 NaOH 투입에 의한 중화처리로 pH쇼크가 우려되었으나 처리수질 분석 시 수질악화 현상은 나타나지 않았고 방류수중의 SS 농도는 20~30% 개선됐으나 24시간 후 원상으로 악화되는 결과가 조사되었다.

2차 개선조치로는 2차 침전조 유입부에 pH 저하 폭이 적은 11% PAC를 270~360mg/ℓ의 농도로 연속 첨가하였으나, 처리수의 SS만 개선될 뿐 슬러지의 부상상태는 변화가 없었고 반송슬러지의 유량을 150~200%로 늘리는 조치에도 불구하고 6~7시간 후 슬러지의 재부상이 관찰됨으로써 슬러지의 부상을 완화하지 못하였다.

최종침전조의 유효높이는 250cm인데 6월 30일은 230cm, 7월 4일은 240cm까지 슬러지가 부상하였으며 상등수는 청정한 상태였다.

Bulking이 발생한 상태의 폭기조 전체용적 부하는 0.56kg.BOD/㎥.day 이고, 1차 폭기조의 용적부하는 1.69kg.BOD/㎥.day 이었다.

전체 F/M비는 0.08 이고, 1차 폭기조는 0.24kg.BOD/kg.MLSS 이었다.

SV는 99.8%, SVI는 평균 139, BOD:N:P=100:1.9:0.3의 조건으로 운전되었다.

Collection @ chosun

Table 109. Sludge Bulking control

Days	Water temperature (℃)	SV30	SVI	Polymer added concentration (mg/ℓ)	Sludge floating layer (cm)
2006/5/25	29	98	132		150
5/30	31	99	129		140
6/1	30	99	133		230
6/2	30	99	141	117	180
6/3	30	100	141	40	150
6/4	30	100	121	99	170
6/6	31	100	128		150
6/7	31	100	134		160
6/10	31	100	127	98	180
6/11	31	100	133	45	170
6/12	31	100	140	43	150
6/13	32	100	133	48	150
6/14	32	100	133	93	160
6/15	32	100	132		170
6/16	32	100	140	40	150
6/17	32	100	143		150
6/18	32	100	133		170
6/19	32	100	134		180
6/20	32	100	133	40	170
6/21	32	100	140		150
6/23	32	100	136		150
6/24	32	100	139	40	190
6/25	32	100	132	99	170
6/26	32	100	135	44	160
6/27	32	100	135		190
6/28	32	100	145	132	220
6/29	33	100	152	125	210
6/30	33	100	143	157	230

dCollection @ chosun

계 속

Days	Water temperature (℃)	SV30	SVI	Polymer added concentration (mg/ℓ)	Sludge floating layer (cm)
7/1	33	100	145	98	210
7/2	33	100	146	36	180
7/3	33	100	145	140	200
7/4	33	100	146	195	240
7/5	34	100	143	144	220
7/6	34	100	149	122	210
7/7	34	100	144	63	180
7/8	34	100	148	102	190
7/9	34	100	141	124	200
7/10	34	100	149	37	150
7/11	34	99	155		140
7/15	34	99	135		120
Average	33.4	99.8	139	26 days supplement	175

하절기 생산증가에 의한 당 폐수 발생이 늘어나는 상황에서 폐수처리 중단 조치는 불가능하므로 최단기간 내에 폐수처리 정상화가 필요함에 따라 Table 109와 같이 6월 1일자로 슬러지의 부상높이가 230㎝로 급부상하여 명확한 벌킹 현상이 나타난 1일차부터 양이온 고분자 응집제를 희석하지 않은 원액상태로 2차 침전조 유입부에 직접 첨가하였다.

첨가농도는 평균 85.1mg/ℓ이었으며, 2차 침전조 유입 배관에 1㎥ 용량의 반응조와 60RPM의 교반기를 설치하였고 개선소요기간인 38일 동안 26일간 고분자를 첨가하였다.

첨가결과 Fig. 49와 같이 투입한 고분자 응집제는 투입즉시 폐수에 용해되었으며 Floc의 형성이 조대화되어 고액분리 상태가 육안으로 선명히 관찰되

Collection @ chosun

었고 상등수는 청정하였다.

일반적으로 고분자 응집제는 Floc은 형성이 잘되지만 콜로이드성 입자나 Pin-Floc은 흡착하지 못하는 특성이 있으나 3종류의 고분자 응집제를 Jar-Test하여 Floc의 크기, 침전성, 상등수의 청정성 등을 검토하여 선정한 고분자응집제는 실제 투입 시에도 동일한 특성이 나타났다.

Fig. 49. Bulking improvement.

Fig. 50과 같이 고분자 응집제 첨가에 의한 SV와 SVI값은 변화되지 않았으나 침전조에서의 슬러지 침전성은 첨가 26회 차부터 안정되었다. 고분자 응집제 첨가 2~3일 후부터 침전조의 슬러지 침전성은 개선이 되었으나 안정화 기간이 38일간 소요된 원인은 반송슬러지를 폭기조로 이송 시 하절기 DO 공급을 위한 송기증가로 과도한 난류가 형성되었고 34℃에 달하는 고수온 환경에서 첨가한 고분자 응집제 고유의 응집력이 유지되지 않은 결과이다.

동일한 농도의 고분자 응집제를 폭기조에 직접 첨가 하였을 때 SV, SVI, 침전조의 침전성 등이 전혀 개선되지 않았다.

2차 침전조 유입부에 첨가한 고분자 응집제 농도범위는 36~195mg/ℓ이었으

Collection @ chosun

며 첨가량이 많을수록 슬러지 침전성이 개선되었으며 pH 변화는 없었다.

평균 고분자 응집제의 첨가농도가 일정하지 않은 이유는 폐수유입 유량의 차이와 반응조의 Floc 입자 상태에 따라 운전비용 증가를 고려하여 최소량을 첨가한 때문이며 첨가량을 늘릴 경우 Bulking 해소기간이 단축 될 수 있음을 알 수가 있었다.

결론적으로 고점성 Bulking이 발생하였을 때는 Bulking 특성에 적합한 최적 고분자 응집제를 Jar-Test를 통해 선정한 후 평균 85.1mg/ℓ이상 첨가 시 35일 전후로 Bulking을 해소 할 수가 있으며, Bulking 해소기간동안 생산 활동에 전혀 영향을 끼치지 않는 정상적인 폐수처리가 가능 한 것을 알 수가 있음에 따라 추후 Bulking 발생 현장에서의 긴급조치 방안으로 제안 할 수 있다.

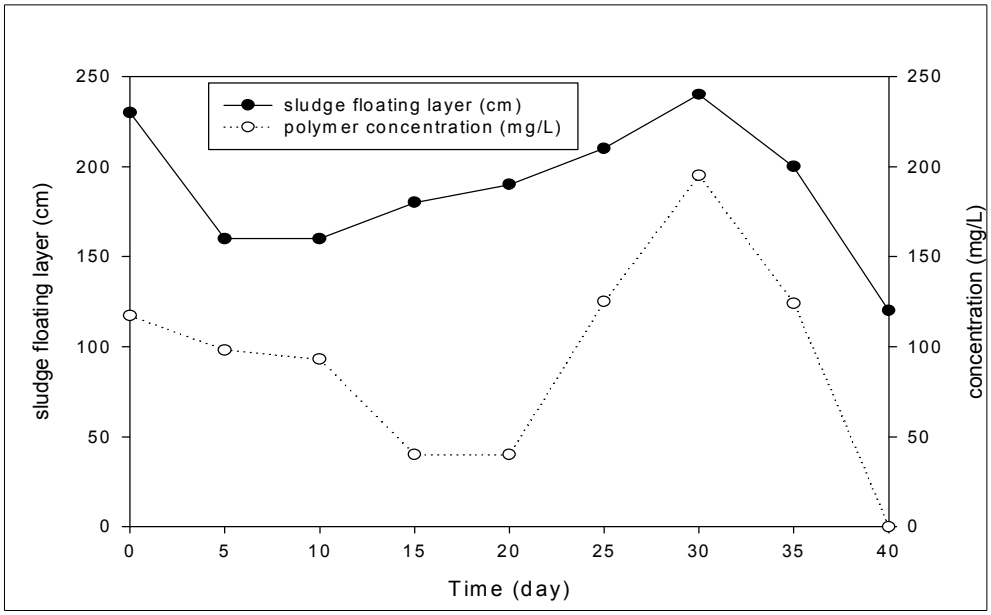

Fig. 50. Improvement of sludge sedimentation.

Collection @ chosun

7. 생물피로개선 효율[25,49,50]

고농도 당 폐수에 의한 수질악화는 장기폭기조에 고부하가 발생하는 하절기에 집중이 되지만 동절기에는 수온저하에 따른 미생물의 활성 감소에 기인한 수질악화현상도 나타난다.

활성슬러지 미생물은 저수온이나 고부하 N, P부족, 독성물질 등이 유입될 경우에 순화하는 적응력이 있으므로 저부하에서 고부하조건으로의 변화가 완만하게 진행이 되면 무리 없는 유기물 분해력을 유지하게 된다.

활성슬러지조의 생물증식환경이 완만하게 악화되면 활성슬러지의 생물적응성과 저항성은 향상되지만, 수일간 유입부하 변동 폭이 30% 이상 증가하거나 환경의 악화속도가 빠르면 활성미생물의 생리대사가 교란되므로 생물피로가 누적되게 된다.[25]

생물피로의 누적과 순화의 기능은 동시에 진행되는데 폭기조나 침전조에는 초기 생물피로현상이 나타나지 않으며 방류수질 분석 값도 현저한 차이가 발생하지 않음에 따라 운전자가 방심하게 된다.

생물피로가 누적되는 현상파악을 위해서는 폭기조의 색상변화와 PH 저하, 거품발생상태의 관찰 및 SV_{30} 측정 시 상등수의 청정도와 슬러지 입경변화 및 침강성의 관찰이 필수적이다. 또한 폭기조 각 조별로 상등수를 채수해서 분석함으로써 폭기조별 생물피로도와 수일후의 방류수질 변화추이를 예견해야 한다. 활성슬러지의 생물피로누적에 의한 수질악화현상은 초기 피로누적 시는 완만한 처리수질의 증가가 나타나지만 3~7일간의 피로 누적기간이 경과한 후에도 피로누적요인이 해소되지 않는 조건이 계속되면 활성슬러지 미생물의 활성이 5% 이상 급격히 하락해서 방류수질이 순식간에 배출허용기준을 초과하는 수질이상이 발생하게 된다.

저부하 요인에 의한 생물피로는 적정운전 시 조기회복이 가능하나 독성물질 유입이나 고부하운전, N, P부족에 의한 생물피로 누적현상은 원인이 완전히 해소되지 않으면 수개월간 장기간 수질악화현상이 지속하게 된다.

아이스크림은 하절기 제품으로써 대기온도 상승 시 수요가 급증하나, 기업주는 폐수처리여건을 고려하여 생산의 감축을 검토하지 않기 때문에 자체적인 생물피로요인 해소에 의한 수질회복은 곤란하다.

dCollection @ chosun

시중에 유통 중인 종균제의 첨가 또한 수질회복에 기여 할 수 없으므로 방류수질기준을 초과한 유출수를 신속히 정상수질로 회복 할 수 있도록 생물피로 현상을 완화하기 위해서는 적기에 Seeding조치를 이행해야 한다.

Table 110, Fig. 51, Fig. 52와 같이 당 폐수처리 시 겨울철의 저수온조건에서 1차 폭기조에서 용적부하 1.35kg.BOD/㎥.day이고 F/M비 0.21kg.BOD/㎥.MLSS 일 경우 18일간은 안정적 처리율이 유지되었으나 19일차에는 BOD 유출농도가 평균농도의 4.2배로 급증한 67.0mg/ℓ으로 악화되었고, 20일차는 185mg/ℓ에 도달하여 배출허용기준을 초과하게 되었다. 21일차는 BOD 농도가 419mg/ℓ로 분해율이 급속히 악화되어서 배출허용기준인 120mg/ℓ를 3.5배 초과하는 최악의 상황이 전개되었다.

Table 110. Water quality deterioration in low temperatures

Class. / Days	Water temp.(℃)	Aerator		BOD (mg/ℓ)		
		Volume load	F/M ratio	Input water	Output water	Treatment rate (%)
1/5	16	1.36	0.24	3078	18.6	99.40
1/9	16	1.44	0.24	2068	8.0	99.61
1/15	16	1.34	0.19	2282	20.0	99.12
1/18	16	1.57	0.21	2068	18.2	99.12
1/23	17	1.16	0.15	2282	13.5	99.41
1/24	17	1.24	0.20	2410	67.0	97.22
1/25	17	1.74	0.23	2461	185.0	92.48
1/26	17	1.79	0.23	2472	419.0	83.05
1/27	17	1.45	0.18	1800	399.0	77.83
1/28	17	0.53	0.06	1212	331.0	72.69
1/29	17	1.35	0.17	1621	300.0	81.49
1/30	17	2.05	0.26	2864	175.0	93.89
1/31	17	1.27	0.10	2835	131.0	95.38
2/1	17	2.42	0.28	4074	148.0	96.37
2/3	17	0.35	0.04	1782	39.0	97.81
2/4	17	0.85	0.12	2036	38.0	98.13
2/5	17	1.34	0.18	2673	36.0	98.65
2/8	17	1.27	0.20	2470	12.0	99.51

Collection @ chosun

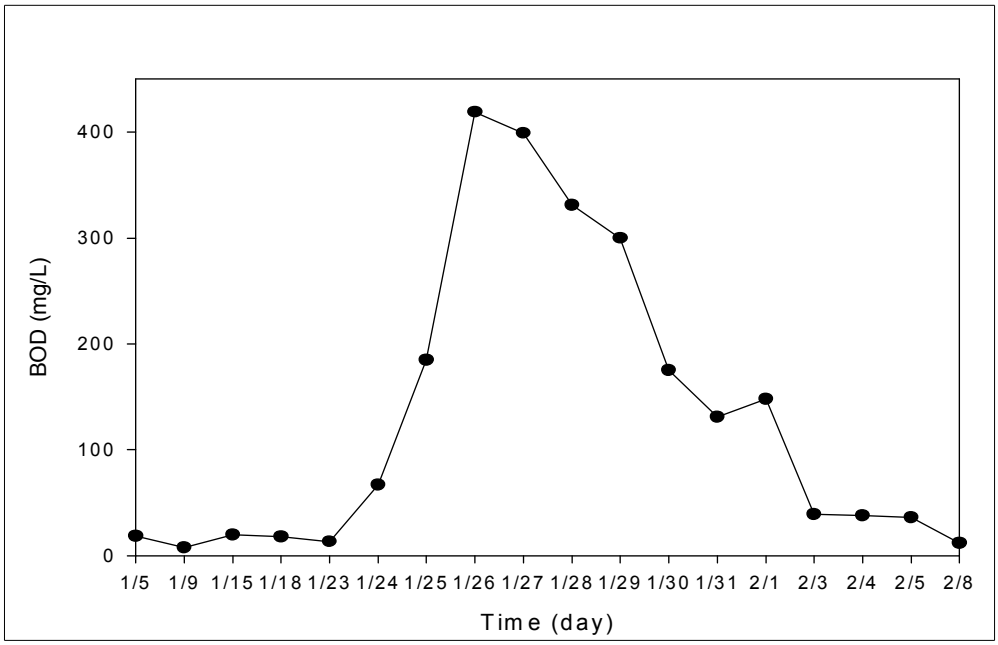

Fig. 51. Concentration of water quality deterioration.

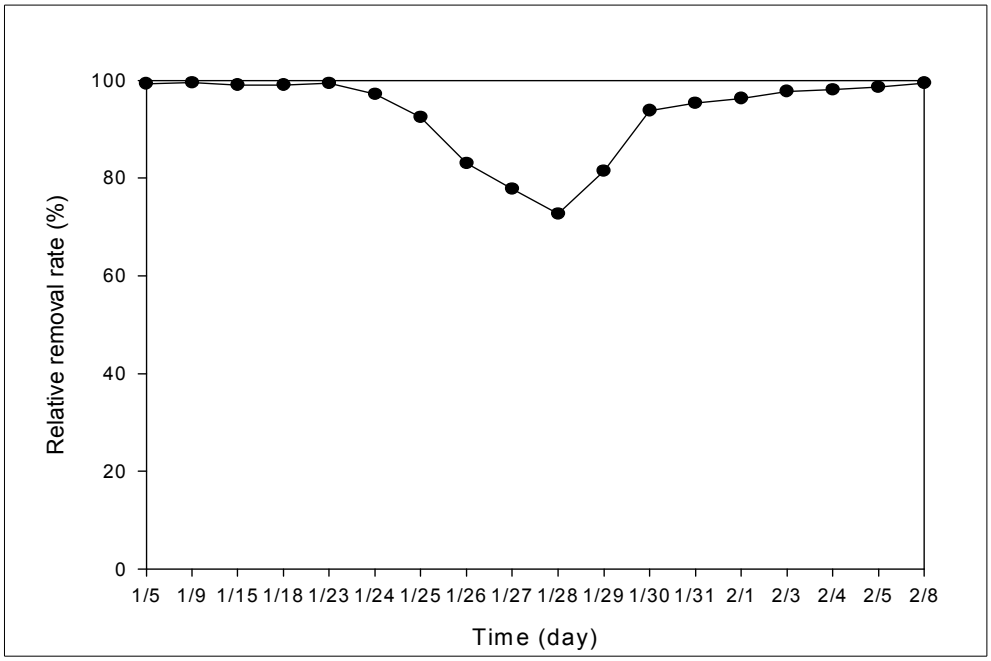

Fig. 52. Decomposition rate changes.

Collection @ chosun

23일차 유입부하감소와 생물순화에 의해 유출 BOD 농도가 331mg/ℓ로 감소하였으나 배출허용기준은 2.8배 초과한 상황이므로 긴급조치가 필요하였다.

이러한 상태에 신속한 반응이 진행되지 않으면 장기간 배출허용기준의 초과가 계속되는데 일반적인 공침처리나 종균제 투입에 의해서는 수질개선이 불가능하므로 외부 활성슬러지의 긴급투입이 최선의 대책으로 요구된다.

외부활성슬러지는 동종식품업계이거나 화학, 섬유업계이거나 관계없으며 활성슬러지조의 반송슬러지를 직접 투입하는 방법이 가장 유효하다.
슬러지케익을 첨가할 경우에는 굳어진 케익을 충분히 용수에 용해한 후 첨가하여야 한다.

수질개선을 위한 조치로 수질악화 5일차에 외부 슬러지를 투입하기 시작하였으며, Table 111, Fig. 53, 54와 같이 투입슬러지는 수질악화 후 MLSS량으로 5일차에 128kg, 6일차에 1191kg, 7일차에 509kg, 8일차에 1116kg 등 총 2944kg의 외부 반송슬러지를 투입하였으며, 동기간 동안 용적부하는 1.30kg,BOD/㎥.day, F/M비는 0.15kg,BOD/㎥,MLSS로 운전되었다.

Table 111. Active sludge seeding

Class. \ Days	1/23	1/25	1/26	1/28	1/29	1/30	1/31	2/1	2/5	total
MLSS amount (kg)	13928	13527	13633	14303	13799	14116	14562	15432	13129	56,780
Seeding sludge amount (kg)	-	-	-	128	1191	509	1116	-	-	2,944
Seeding ratio (%)	-	-	-	0.89	8.63	3.61	7.66	-	-	5.18

F/M비 감소는 외부 슬러지 첨가에 의한 MLSS 농도 증가에 의한 것이며 외부슬러지 첨가량은 첨가기간중 장기폭기조 체류 슬러지량의 5.18% 이었다.[49)]

외부슬러지 투입 종료 24시간 후 방류수 BOD는 39.0mg/ℓ로 개선되었으며 96시간 후는 12mg/ℓ로 낮아져서 수질악화 이전의 정상수질을 회복하였다.

Collection @ chosun

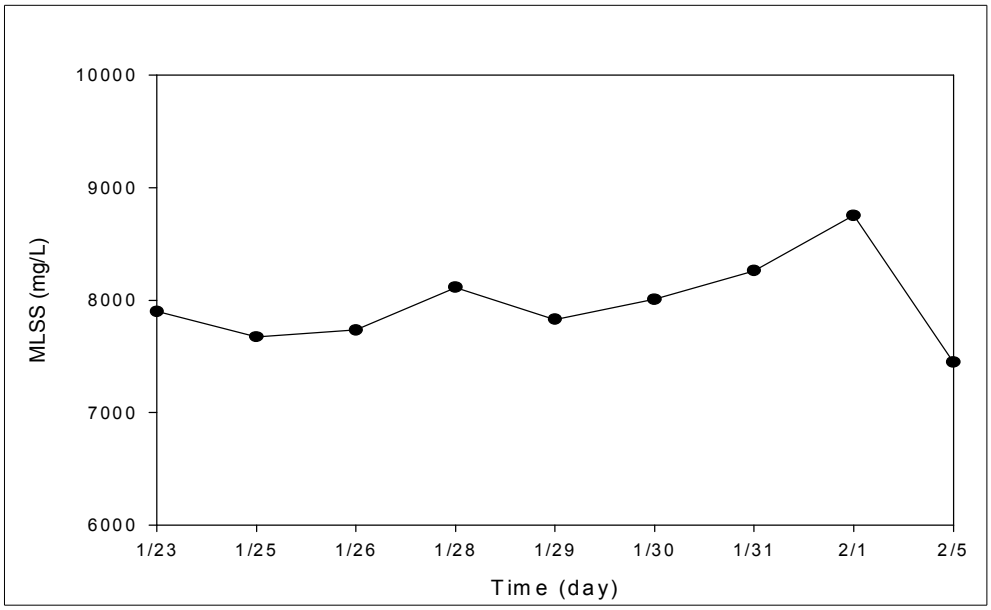

Fig. 53. Concentration changes of MLSS.

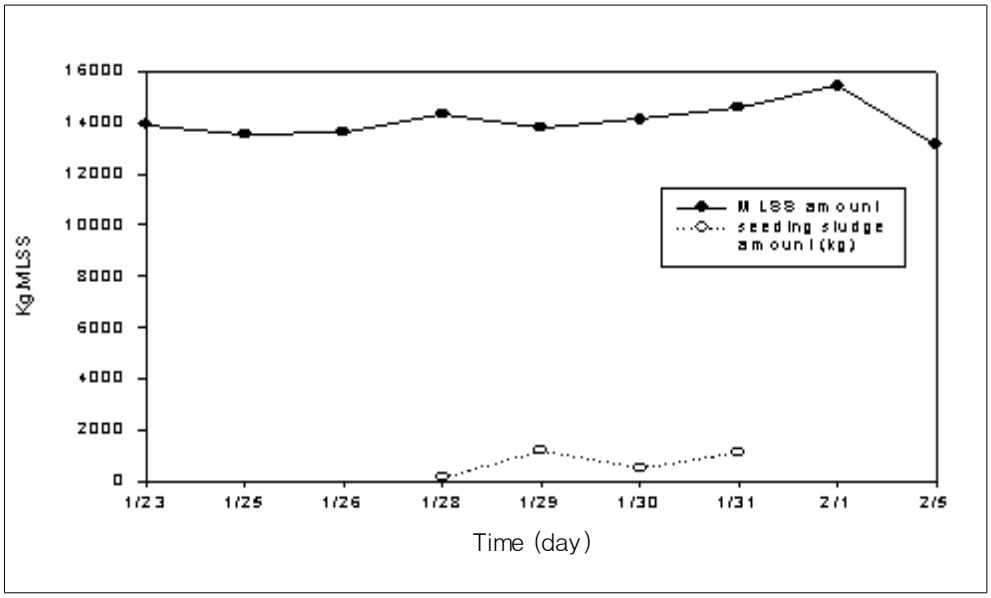

Fig. 54. Total MLSS amount and seeding living thing amount.

Collection @ chosun

외부슬러지 첨가 1일차는 BOD 농도가 300mg/ℓ로 감소하였고, 2일차는 175mg/ℓ로 현저히 개선되었으며, 3일차는 131mg/ℓ로 감소하였다. 4일차는 용적부하가 2.42% 증가한 관계로 BOD 농도가 148.0mg/ℓ로 증가하였으나 BOD 처리율은 72.69% 에서 96.37% 로 현저히 개선되는 경과를 보여주었다.

외부슬러지 첨가 종료 96시간 후의 BOD 제거율은 99.51%의 안정된 상태에 도달하였고 Seeding 기간 동안 잉여슬러지의 인출은 없었다.

Fig. 55, 56과 같이 과부하에 의한 생물피로누적 시 폭기조에는 다량의 유백색거품에 해체된 갈색의 슬러지입자가 부착된 미분해 거품이 발생하여 폭기조 전면으로 월류하였다. 방류조에 유백색 또는 갈색의 끈끈한 거품이 발생하게 되면 유출수의 BOD 농도는 100 mg/ℓ를 초과하는 상태가 된다.

Fig. 55. Bubble of living thing fatigue.

Collection @ chosun

Fig. 56. Deterioration of released water quality.

Fig. 57. Final sinking tank.

Collection @ chosun

Fig. 57과 같이 Seeding에 의한 수질개선으로 정상적인 방류수질이 유지되었다.

당 폐수의 생물피로가 완화되는 전조로는 폭기조의 거품이 끈끈하고 무거운 갈색에서 가벼운 유백색으로 전환됨과 동시에 소멸이 되면서 비릿한 취기가 완화된다. 또한 침전조 탁도의 개선과 함께 폭기조의 PH가 7.5이상으로 증가하는 현상이 나타나게 된다.[50)]

결론적으로 당 폐수의 고부하 유입에 의한 생물피로누적으로 활성슬러지의 생물분해력이 5.0% 이상 감소하여 처리수질의 급속히 악화되어 배출허용기준을 초과하는 경우에는 신속히 외부슬러지를 첨가하는 Seeding 조치가 필수적으로 요구된다.

Collection @ chosun

제13절 최종 처리효율[21,23,32)]

Table 112와 같이 3단계의 폭기조중 1차 폭기조에서 유입 BOD의 99.71%가 분해되고 있으며, 2차, 3차 폭기조는 기질부족으로 빈부하운전이 되고 있다. Table 113과 같이 당 폐수처리 시 전 공정에서 BOD는 99.90%, COD는 99.55%, SS는 99.27%, N-H는 98.95%, T-N은 93.04%, T-P는 98.72%가 처리되었다.

Table 53,55~59와 같이 장기폭기공정에 의한 생물처리시의 폐수처리 효율은 BOD가 99.84%, COD는 99.32%, SS는 89.03%,의 N-H은 88.15%, T-N은 93.38%, T-P는 98.94%의 처리율을 보였다.

Table 112. Post-treatment efficiency

Process / Items	Input water	1 Aerator	2 Aerator	3 Aerator
BOD(mg/ℓ)	2773	8.0	5.1	4.5
COD(mg/ℓ)	2315	28.2	17.9	15.8
S S(mg/ℓ)	103	27.0	16.0	11.3
N-H(mg/ℓ)	5.57	1.66	1.05	0.66
T-N(mg/ℓ)	67.67	6.85	4.97	4.48
T-P(mg/ℓ)	13.54	0.290	0.195	0.144

Table 113. Treatment rate of the whole process in extended aeration

Process / Items	Source wastewater	Dissolved air flotation tank	Long-term aerator	Treatment rate (%)
BOD(mg/ℓ)	4712	2773	4.5	99.90
COD(mg/ℓ)	3479	2315	15.8	99.55
S S(mg/ℓ)	1554	103	11.3	99.27
N-H(mg/ℓ)	6280	5.57	0.66	98.95
T-N(mg/ℓ)	64.37	19.9	4.48	93.04
T-P(mg/ℓ)	11.27	2.61	0.144	98.72

Collection @ chosun

폭기조별 MLSS 농도는 1차 폭기조가 7,690mg/ℓ이며, 2차 폭기조는 7,611mg/ℓ이고, 3차 폭기조는 7,551mg/ℓ로 감소하는 등 후단 폭기조의 생물분해 능력은 무시할 수준이다. 3단 폭기조 전체를 가동하기 위한 Roots-Blower 공기 송기량은 과다하여 2,989Kw/일로 동력부담이 증가함으로써 폐수처리비용 상승요인이 되고 있다.

기존의 장기폭기처리조 유출수의 처리수질을 개선하기 위해 Table 114, Fig. 58, 59와 같이 1차 폭기조의 유출수를 대상으로 하여 공침처리, 감람석 여과처리, 공기산화처리 등 3단계의 후처리를 한 후 유출수의 항목별 처리효율을 조사하였다.

Table 114. Treatment rate of each tank in extended aeration

Process / Items	Source waste water	Dissolved air flotation tank	Organic acid fermen-tation tank	1 Aerator	Co-precipitation	Olivine filtering tank	Air oxida-tion tank	Treatment rate (%)
BOD(mg/ℓ)	4712	3168	2773	8.0	2.66	2.06	1.42	99.97
COD(mg/ℓ)	3479	2640	2315	28.2	9.39	7.27	5.0	99.86
S S(mg/ℓ)	1554	124	103	27.0	1.59	0.28	0.17	99.99
N-H(mg/ℓ)	62.80	15.59	5.57	1.66	0.95	0.69	0.54	99.14
T-N(mg/ℓ)	64.37	28.55	19.9	6.85	1.65	1.44	1.08	98.32
T-P(mg/ℓ)	11.27	3.3	2.61	0.290	0.02	0.006	0.004	99.96

공침처리를 위해서 3차 폭기조 유출부의 폐수이송관로를 절개하고 1m³ 용량의 반응조를 설치하여 체류시간 3.5분, 교반속도 60rpm을 유지하면서 11% PAC 360mg/ℓ를 첨가하였다.

감람석 여과처리공정은 공침처리 후의 침전조 월류수를 여과하기 위하여 130ℓ용량의 여과기를 제작하였고, 평균입경 1.0mm의 감람석을 50% 충진 후 60분의 여과 체류시간으로 운전하였다.

Collection @ chosun

공기산화처리공정은 유출수를 120㎥의 유량조정조에 이송 후 DO 농도 1.3~6.6mg/ℓ 범위로 4.8시간 이상 공기산화처리 후 침전조로 월류 배출하였다. 각 공정별 유입수와 유출수를 채수하여 수질항목별 처리효율을 비교 분석하였다.

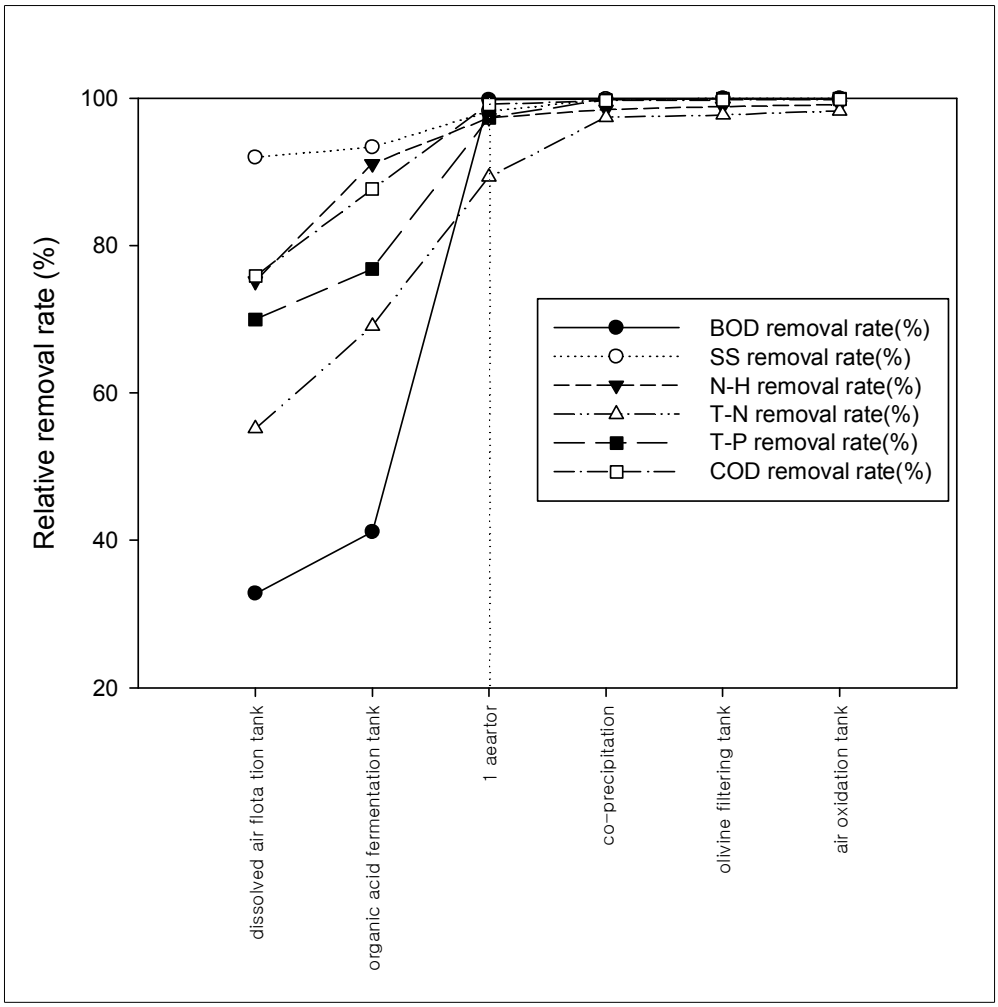

Fig. 58. Treatment rate by process.

Collection @ chosun

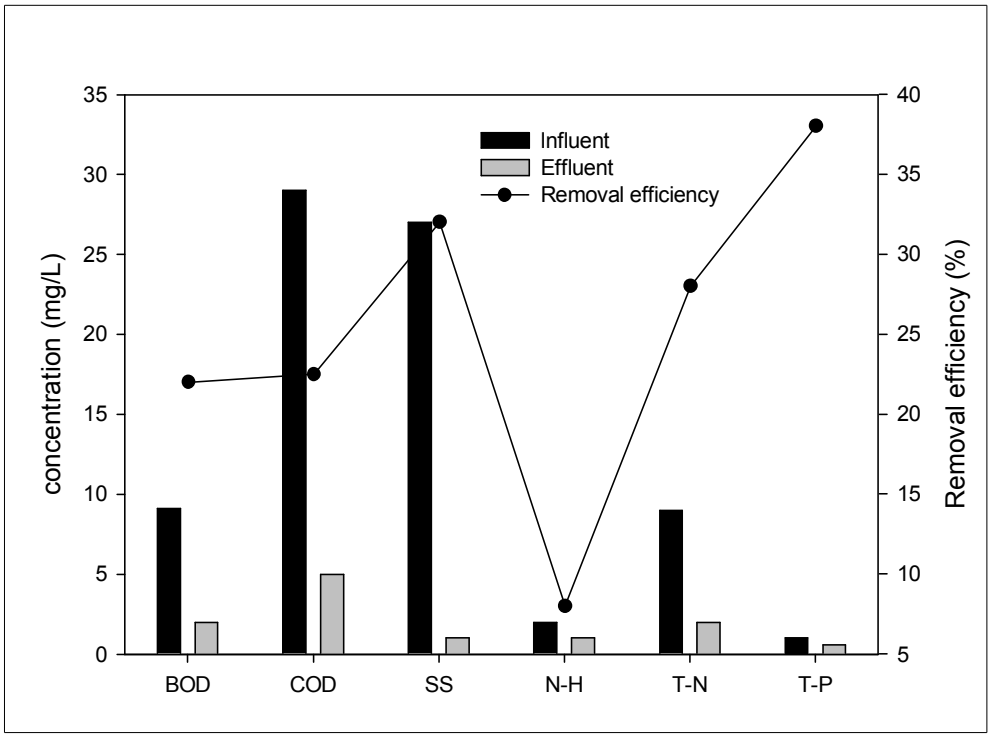

Fig. 59. Post-treatment efficiency.

각 공정별 유입수와 유출수를 채수하여 수질항목별 처리효율을 살펴보면,

1. BOD 처리율

BOD 처리결과 1차 폭기조 유출수 농도는 8.0mg/ℓ이었는데 공침처리 후 2.66 mg/ℓ로, 감람석 여과처리 후 2.06mg/ℓ, 공기산화처리 후는 1.42mg/ℓ로 감소하여 유입수 농도 대비 82.25%가 처리되었고, 총 처리율은 99.90%에서 99.97 %로 향상되었다.

2. COD 처리율

COD 처리결과 유입수 농도는 28.2mg/ℓ이었는데 공침처리 후는 9.39mg/ℓ, 감람석 여과처리 후 7.27mg/ℓ,공기산화처리 후 5.0mg/ℓ로 감소하였다.

dCollection @ chosun

유입수 농도 대비 82.27%가 처리되었고 총 처리율은 99.55%에서 99.86% 로 향상되었다.

3. SS 처리율

SS 처리결과 유입수 농도는 27.0mg/ℓ 이었는데 공침처리 후는 1.59mg/ℓ, 감람석 여과처리 후는 0.28mg/ℓ, 공기산화처리 후 0.17mg/ℓ로 감소하여 유입수 농도 대비 99.37%가 처리되었고, 총 처리율은 99.27% 에서 99.99% 로 향상되었다.

4. N-H 처리율

N-H 처리결과 유입수 농도는 1.66 mg/ℓ이었는데 공침처리 후는 0.95mg/ℓ, 감람석 여과처리 후는 0.69mg/ℓ, 공기산화처리 후 0.54mg/ℓ로 감소하여 유입수 농도 대비 64.47%가 처리되었고, 총 처리율은 98.95%에서 99.14%로 향상되었다.

5. T-N 처리율

T-N 처리결과 유입수 농도는 6.85mg/ℓ이었는데 공침처리 후는 1.65mg/ℓ, 감람석 여과처리 후 1.44mg/ℓ, 공기산화처리 후는 1.08mg/ℓ로 감소하여 유입수 농도 대비 84.23%가 처리되었고, 총 처리율은 93.04% 에서 98.32%로 향상되었다.

6. T-P 처리율

T-P 처리결과 유입수 농도는 0.29mg/ℓ이었는데 공침처리 후는 0.02mg/ℓ, 감람석 여과처리 후 0.006mg/ℓ, 공기산화처리 후 0.004mg/ℓ로 감소하여 유입수 농도 대비 98.62%가 처리되었고, 총 처리율은 98.99% 에서 99.96%로 향상되었다.

3단계의 후처리 결과를 보면 각 항목 중 T-N 제거율은 98.32%로 낮게 나타났으나 기타 항목은 99.14~99.99%의 높은 처리효율로 운전되는 성과가 나타났다. 그러므로 3단의 장기폭기조 운전방식에 대한 공정변경의 필요성이 인

Collection @ chosun

정된다.

이에 따라 2,3차 폭기조는 운전을 중단하고, 1차 폭기조는 BOD 용적부하 4.0 Kg.BOD/M_3.day 이내의 고율폭기조[21,23,32] 개념의 생물분해조로 운전한 다음 유출수를 공침처리, 감람석여과처리, 공기산화처리를 할 경우 고부하, 난분해성 당 폐수임에도 99.97% 수준 이상 최상의 처리효율을 얻을 수가 있었다.

2,3차 폭기조를 생물안정조 개념으로 운전할 경우에 방류수 BOD는 0.8 mg/ℓ로써, 99.98%에 달하는 최고 처리 값이 실현 될 것으로 예상된다.

수질개선을 위한 3단계의 처리공정은 선택적으로 적용 할 수 있으며, 공침처리 시 첨가하는 PAC는 처리수질의 농도별 가감이 용이하므로 운전비용 절감 목표에 따라 탄력적으로 대응 할 수 있다.

또한 3단계 적용공정의 설치비용은 매우 낮으며 공침에 첨가하는 PAC 비용은 20,000~30,000원/일의 저렴한 비용부담에 의한 처리가 가능하였다.

이에 비해 170,300원/일에 달하는 폐수처리시설가동 전력비의 75%를 차지하는 Roots-Blower 가동전력의 30~40% 절감이 가능함에 따라 실제 폐수처리비용은 년 간 10,508,000원의 절감이 이루어지게 된다.

결론적으로 장기폭기조는 고율폭기조 개념의 운전전환과 3단계의 후처리방식을 적용하면 BOD 기준 99.97%가 처리되며, 이는 오염물질 처리효율의 최적화와 환경비용절감이라는 두 가지 목표를 달성 할 수가 있게 된다.

Collection @ chosun

제 5 장 결 론

당 폐수 처리시설관리의 최적화로 오염물질의 배출을 저감하기 위해 당 폐수의 처리공정을 “1단 고율 폭기처리 - 공침처리 - 감람석 여과처리 - 공기산화처리”의 공정으로 전환하여 당 폐수처리 최적화 기술로써 제시한 결과는 다음과 같다.

1. 설계기준으로 제시된 장기폭기공정의 설계지표 값을 실제 처리한 당 폐수의 처리 결과 값으로 변경 제시함으로써, 각각의 당 폐수 폐수처리시설별 정밀한 설계 효과에 의해 처리효율을 최상의 수준으로 유지 할 수가 있다.

장기폭기조의 처리용량을 1/3로 축소하여, 설계 용적부하인 0.4kg.BOD/㎥.day보다 4.1~7.7(최대12.6)배의 고부하 조건인 0.83~3.06(최대5.04) kg.BOD/㎥.day의 고율폭기조로 전환하면 동력비는 년 간 10,560천원이 절감되며 장기폭기조의 당 폐수 처리효율은 이론적 고율 처리율인 90.00%를 초월한 99.71%가 처리되므로 총 처리율은 99.97%에 이르는 성과가 나타난다.

당 폐수처리 시 수질악화와 슬러지 벌킹 발생의 주원인이 되는 N.P 첨가값을 100:2.42:0.51로 운전 할 경우 유기물 분해 값을 최적화 할 수 있고, 방류수의 T-N 농도는 1.0mg/ℓ, T-P 농도 는 0.2mg/ℓ이하로 배출 할 수 있다. 그러므로 식품 폐수처리 시 N.P 제거를 위한 고도처리 공정의 도입은 불필요하다.

활성슬러지 공정의 운전 지표인 DO 농도는 1~3mg/ℓ범위가 제시되고 있으나, 당 폐수처리 시 24시간 연속 폭기로 평균 원단위 송기량은 166.8㎥.Air/ kg.BOD 이상이고 하절기에 100㎥.Air/min의 송기값이 주어지면 생물분해조는 충분한 혼합과 교반이 이루어지며, 슬러지 반송율 1.5~2.5와 적정 N.P비 공급 시 활성슬러지조의 DO 농도는 0.1mg/ℓ, 반송슬러지의 DO 농도는 0.02mg/ℓ가 유지된다, 이러한 운전조건이 조성되면 경제적이며 최상의 처리효율이 실제 당 폐수처리 현장에서 실현되는 결과가 조사되었다.

이에 따라 생물분해조는 충분한 혼합 접촉이 이루어지는 전제하에 측정된 DO 농도 범위 0.1mg/ℓ를, 동력비 절감 및 유기물의 최적분해 값 실현에 유효한 당 폐수의 호기성처리 시 한계 DO 농도 값으로 제시 할 수 있다.

dCollection @ chosun

장기폭기조의 저부하 유입에 의한 저 강도 폭기로 DO 농도가 2~3 mg/ℓ로 유지되는 경우에 비해, 과부하 유입 시 고강도 연속 폭기로 DO 농도가 0.1 mg/ℓ범위로 운전 될 경우에는 생물분해조의 충분한 혼합 접촉 효과로 인해 생물처리율은 이론적 처리한계를 극복하게 된다.

2. 난분해성 당 폐수의 최적처리를 위한 핵심적 요소는 매일 공정별 수질 분석을 통한 유입부하 측정과 N. P농도 조정, MLSS농도 측정에 의한 F/M비 조정이 중요하다. 또한 연속폭기를 통해 유기물과 활성슬러지와의 충분한 접촉강도 유지와 플럭의 분산성장을 인위적으로 제어하는 기술연구가 필요하다.

당 폐수의 장기폭기공정이나 고율처리 시는 공통적으로 과부하 유입에 의한 플럭의 분산성장이 활발해진다, 결과적으로 유기물의 흡착율은 감소하며 유출수는 탁도가 발생하고 항목별 배출농도는 증가하게 된다.

이러한 수질악화 요인을 해소하기 위해 공침공정을 도입하면 분산성장한 플럭의 입경과 비중을 인위적으로 신속하게 강화함으로써 활성슬러지 생체의 유기물 흡착력과 침전성을 극대화 할 수 있음에 따라 최상의 처리효율을 실현 할 수 있게 된다.

3. 고율처리에 의한 당 폐수처리 시 BOD처리율은 99.71%, 처리수의 농도는 8.0mg/ℓ로 유출되었고 부영양화를 일으키는 T-N농도 0.6mg/ℓ, T-P농도 0.025mg/ℓ이상 보다 높은 6.85mg/ℓ와 0.29mg/ℓ로 유출됨에 따라, 공침처리, 감람석 여과처리, 공기산화처리의 후처리공정을 도입함으로써 BOD 처리율은 99.97%이며 유출농도는 1.42mg/ℓ, SS 처리율은 99.99%이며 유출농도는 0.17mg/ℓ, N-H 처리율은 99.14%이며 유출농도는 0.54mg/ℓ, T-N 처리율은 98.32%이며 유출농도는 1.08mg/ℓ, T-P 처리율은 99.96%이며 유출농도는 0.004mg/ℓ로 현저히 향상되었으며, 하천수계의 부영양화 예방에도 크게 기여 할 수 있게 된다.

BOD의 후 처리공정에서 공침처리 시 66.75%, 감람석 여과처리 시 22.56%, 공기산화처리 시 31.07%의 처리율이 향상되었다.

dCollection @ chosun

4. 캔디와 아이스크림을 생산하는 공정에서 배출하는 당 폐수 발생 원단위가 캔디 공정에서는 33.80kg.BOD/ton.캔디, BOD 농도 7324.7mg/ℓ이다. 아이스크림 공정에서는 26.88kg.BOD/ton.아이스크림, BOD 농도는 4157.8mg/ℓ로 조사되었다. 평균 원단위는 28.57kg.BOD/ton 이며, BOD 농도는 4712mg/ℓ이다. 제시된 실측값은 폐수배출원단위 재 산정 시 당 폐수 발생 원단위 값으로 적용할 수 있다.

5. 장기폭기조에 유입되는 307.959ton의 BOD는 99.84%가 생물분해 되었고 0.16%는 미분해 유출되었다. 생물 분해된 307.456ton의 BOD는 69.6%(61.5~82.8%)가 활성슬러지 생물 생체로 전환되었고 30.4%는 에너지 대사에 이용되었다. 당 폐수 처리시의 생체전환율은 고부하 조건이므로 일반적인 값으로 제시된 0.5~0.6의 범위보다 높게 나타났다.

6. 유기물에 의해 전환된 활성슬러지 생체는 장기폭기조에 유입된 오염물질을 흡수, 흡착하여 제거하는데 BOD 흡착량은 0.8904 Kg.BOD/Kg.MLVSS, SS는 0.0305 Kg.SS/Kg.MLVSS, N-H는 0.0012 Kg.N-H/Kg.MLVSS, T-N은 0.0205 Kg.T-N/Kg.MLVSS, T-P는 0.0044 Kg.T-P/Kg.MLVSS 으로 조사되었다.

T-N의 흡착율은 제시 값인 0.02~0.06 범위이내로 유지되었고 T-P의 흡착율은 제시 값인 0.015~0.020 보다 낮게 처리되었는데, 이는 혐기성 탈인공정이 적용되지 않은 결과이다. 향후 BOD, COD, SS, N-H등의 생체흡착율 값의 추가적 연구가 필요하다.

고율폭기조에서는 유입 BOD의 99.84%가 흡착 되었고, 생체 흡착율은 유입부하가 높을수록 증가하는 상태가 관찰되어 활성슬러지 미생물은 탈인 미생물과 유사하게 BOD의 과잉 섭취능이 있는 것을 알 수 있다.

산정된 생체흡착율 값을 활성슬러지 폭기조 용적설계 시 적용하면 BOD 용적부하를 기준으로 한 폭기조 용적산정 시보다 설계 및 시공비용과 운전 유지비용의 절감이 이루어지고 폐수 처리효율의 안정화에 기여 할 수가 있을 것으로 예상된다.

Collection @ chosun

참고문헌

1, 식품저널, “식품유통연감” p201~206. 2008

2, 해태식품연구소, “아이스크림품질기준” p2~15, 7~92, 2002

3, 국립수의과학검역원 고시제2008-9호 “축산물의 가공규격 및 성분규격” 2008.7.31

4, 환경부, “Webmaster@epeople.go.kr 먹는 물의 관리기준 및 각 성분이 인체에 미치는 영향에 대해서” 2007.11.13

5, 환경부, “Webmaster@epeople.go.kr 폐전구의 중금속함유농도 “ 2007. 3.21

6, 임동규 외 2명, “97-98 유기성퇴비의 수급현황과 음식물쓰레기 퇴비의 수요 전망” 농업과학기술원. p5-30. 1998

7, 김기헌 외 2명, “폐기물소각시설의 공정운전 및 대기오염물질 배출특성 평가 연구” p6~7. 2006

8, 최형일 외 2명, “산업장소음 노출 실태에 관한 조사” 1992.

9, 전남지역환경기술개발센타 “기후변화대응국제포럼” p50,83,87. 2008.12

10, Wastewater Engineering Treatment and reuse,4th ed. Metcalf Eddy, p609, 2001

11, 서경애, “하·폐수처리시설에서의 온실가스배출량 평가연구 p39~40. 2002

12, 동명산업, “RPF 고형연료 온실난방 시스템” p3~21. 2005

13, 유해화학물질관리법 제17조 제2항, 시행령 제14조

14, 국립환경연구원, “폐수배출시설표준원단위연구 - 111 “p51~89. 1999.12

15, 환경부, “폐수종말처리시설의 설계” p4~117. 1995

16, 환경보전협회, “수질 및 수생태계보전에 관한법률 제2조, 시행규칙 제3,4조” . 2008

17, 한일환경건설, “Hanging Bio Contactor” p13~25,171,178,180. 2000

18, 환경보전협회, “분뇨처리기술” p153,349,357. 2006

19, 양상현 외 1명, “용·폐수처리와설계관리” ,p52~53,63,126,127,176, 177,229,239,243,254~260,337,507~527,529,533, 동화기술. 2004

Collection @ chosun

20, 한국산업기술센타, “생물학적폐수처리 실무기술 및 계측장비관리요령” p43~45, 1995
21, 병무청, “하천보호” p163~164,215. 2008
22, Rachel L Carson,"Silent Spring" p280~282. 1962
23, 유성환 외 9명, “기초폐수처리기술” p58,175,227,246,257,467,526,527 동화기술. 2002
24, 고춘남 외 7명, “수질오염공정시험법”, 창문각. 2003
25, 박경식 외 1명 “생물학적 폐수처리실무" p18~19, 동화기술. 2004
26, Jeong,J.K, Yoon,T.I, Lee,M.J,"wastewater treatment by using the reactor combined bincontactor and activated sludge aeration tank" 1985.1
27, 박정규 외 7명, “최신수질관리”, p223, 동화기술. 2003
28, 정경훈 외 2명, “저온에서의활성슬러지법에 의한 유기성폐수처리” 1991
29, 정경훈 외 4명, “곰팡이와 활성슬러지를 이용한 전분 및 당폐수처리” p6~8. 1996
30, 이정수, “하·폐수처리”, 동화기술.p336~349,361. 2004
31, 첨단환경기술, “하·폐수처리장 운영관리 실무 -3” p78. 2007,7
32, 고광복 외 12명, “폐수처리공학 -Ⅱ” p1066~1202, 동화기술. 2004
33, Yeo,S.M, Lee,Y.O, "Changes of Bacterial Community Structure depending on C:N:P Ratio for Biological Phosphate Removal" p3. 2005,4
34, 환경보전협회, “수질관리” p293~296. 2007
35, 김갑수 외 1명, “신활성슬러지법” p16~17,24, 동화기술. 1994
36, 김기은 외 1명 공역 “악취측정 및 제거” p124~185. 아카데미서적. 2004
37, 환경보전협회, “악취방지법 제2조, 제7조, 시행규칙 제2, 3조” 2007
38, 설동화, “생물학적처리 제과폐수의 침전성 개선방안에 관한 연구” p71~79. 2002
39, 박상정 외 3명, “혼화응집공정에 의한 원생동물제거에 영향을 주는 환경요인 연구” p1~4. 2003.4

Collection @ chosun

40, 백계진, “하수처리수의 3차 처리에 관한 연구” p61~62. 2006
41, 특허 제 10-0614742호 " 감람석소재를 이용한 수질정화방법” p12,5~11. 2004.3.18
42, 최형일 외 2명, “합성세제 독성연구” 1987.
43, 서정범 외 2명, “생물학적폐수처리에 미치는 중금속의 영향” 2005.11
44, 조광명, “PH가 생물학적 폐수처리효율에 미치는 영향” . 1985
45, 환경관리연구소, “벌킹대책기술” p176-180. 1992
46, 첨단환경기술, “하·폐수처리장 운영관리 실무 -4” p120~123. 2007.8
47, 첨단환경기술, “폭기조의 거품과 방선균” p57,61. 2001.10
48, 국립환경연구원, “수질관리” p221. 1991
49, 최용범외 4명 “고부하 활성슬러지 공법의 최적 반송율 결정” p1~2. 1998,11
50, 서정원, “생물학적 폐수처리” p4~6.171~173 대양바이오케미칼 1987
51, 환경관리인. “ 활성슬러지 팽화 원인과 해결방안 ” p31~32. 1991.06
52, Kim,S.S, “Effects of Repeated Starvation condition on Morphological properties of Biological Flocs” 2006.4
53, Han,M.Y, Kim,T.I, Kim,J.H, "Effect of Floc Properties on Dissolved -air-flotation Process" 2004.4
54. Yu-ga An, Ye-jin Kim, Soo-jeon Yoo, Jung-june Lee, Jae-hoon Choi, Chang-won Kim "Pattern matching for diagnosis of denitrification using ORP profile" 2006.4

dCollection @ chosun

감사의 글

거친 세상 길 속에서도 늘 푸른 초장으로 인도해 주신 하나님의 크신 은혜에 영광의 찬양을 올립니다.

그리고 언약했던 행복하고 여유로운 삶을 만들어 주지 못했음에도 불구하고 오늘에 이르기까지 항상 격려와 성원으로 든든한 기둥이 되어 준 아내에게 가장 큰 고마움을 전합니다.

부족함이 많지만 예리한 혜안으로 통찰하시고 혁신적으로 지도해 주신 최형일 지도교수님께 감사드리며, 늘 웃는 미소 중에서도 정곡을 찔러 지도해주시는 정경훈교수님과 신대윤교수님께 감사를 드립니다.

저는 1970년대 중반이후 오늘까지 30여년이 넘는 긴 세월동안 환경보전의 현장을 지켜오는 동안 환경기술은 발전하고 환경보전에 대한 국민의 열망은 성숙해져 가고 있는데도, 자연환경과 생활환경의 질은 오히려 낮아지고 있음을 아쉬워하였습니다. 또한 평균수명의 증가와 함께 청정식품산업이 꾸준히 성장하는 과정에서 당폐수의 배출부하도 증가하고 있으나 최적의 처리기술이 제시되지 않는 문제에 대해서도 깊은 관심을 가져왔습니다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 박사과정에 입학함과 동시에 최형일교수님의 지도아래 3년간 당 폐수처리공정에 대한 연구를 계속해온 결과 작은 성과를 거두게 되었습니다.

아쉬움이 있지만, 전국에 분포된 수많은 당 폐수처리시설의 유지관리에 다소나마 도움이 될 수 있기를 희망합니다.

Collection @ chosun

저작물 이용 허락서

학 과	환경생명공학과	학 번	20077406	과 정	박사
성 명	한글: 설 동 화 한문: 薛 東 和 영문: Seol, Dong-Hwa				
주 소	광주광역시 동구 산수1동 463-6 동진맨션 2-501				
연락처	017-602-0360 E-Mail : sulh1@yahoo.co.kr				
논문제목	한글 : 아이스크림 당 폐수처리 최적공정에 관한 연구 영어 : A Study on the Optimization Process of Ice-cream Sugar Wastewater Treatment				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(0) 반대( )

2009 년 8 월 일

저작자 : 설 동 화 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하