

호기성 고정생물막반응기에서 동일 질량부하의 수리학적 및 농도충격부하시 반응의 비교

안 미 경 · 이 규 훈 · 박 태 주

부산대학교 공과대학 환경공학과
(1994년 6월 11일 접수)

Comparison of Aerobic Fixed-film Process Response to Quantitative and Hydraulic Shock for the Same Increases in Mass Loading

Mee-Kyung Ahn, Kyu-Hoon Lee and Tae-Joo Park

Dept. of Environ. Eng., Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea
(Manuscript received 11 June 1994)

Abstract

The objective of this study was to examine and compare to transient response to quantitative and hydraulic shocks which produce equal changes in mass rate of organic feed in aerobic fixed-film process.

The general experimental approach was to operate the system at several growth rates under steady-state(pre-shock) conditions, then to apply step changes during day 3 in dilution rate(hydraulic shock), or feed concentration(quantitative shock) at the same organic mass loading rate. Performance was assessed in both the transient state and the new steady-state(post-shock).

Shock load of different type did not produced equivalent disruptions of effluent quality for equal increases in mass loading rate. Based on effluent concentrations, a hydraulic and a quantitative shock at the same mass loading caused equal increase in total effluent COD, but the increase was primarily a result of suspended solids the hydraulic shock and COD in the quantitative shock.

The time which effluent COD came to peak values were about 32~48 hours at the low organic loads and 52~72 hours at the high organic loads, respectively.

A quantitative shock produced a much greater increase in effluent COD than did a hydraulic shock at the same mass loading. Mean and peak values of effluent concentration were increased in 2.8~4.2 times at low organic loading rate, 5.2~6.6 times at the high organic loading rate, respectively.

Key words : Aerobic fixed-film reactor, quantitative shock, hydraulic shock, mass loading rate.

1. 서 론

유기성 폐수의 처리에 있어서 현재까지의 경제적이면서 가장 좋은 방법은 미생물을 이용하는 생

물학적 처리법이며, 이들 방법 중 도시하수와 같이 유기물 농도가 낮은 폐수는 부유미생물을 이용하는 활성슬러지법과 부착미생물을 이용하는 살수여상법이 주로 이용되고 있다. 그러나 비교적 고

농도의 유기물을 함유하는 공장폐수 처리장의 경우 종종 미생물의 활성을 저해하는 여러 종류의 충격이 처리장에 가해지며, 이러한 충격부하는 공정의 안정성과 효율성에 크게 영향을 미치기 때문에 처리장 관계자들에게는 많은 관심의 대상이 되고 있다. 한편 활성슬러지 공법의 경우 정상상태 조건에서 연속운전에 관한 일반적인 동력학적 이론은 이미 30년 전에 소개되었으며, 다양한 모델들이 개발되었으나 실제 처리장은 전통적으로 수리학적부하율이나 유기물부하량과의 연관성을 이용하여 설계되었다. 그러나 실제 공장에서 배출되는 폐수는 유량과 수질이 계속 변하는 비정상상태의 연속이며 부하량의 변동과 같은 순간적인 충격부하시 처리장의 안정적 운전조건의 고찰은 상당히 중요하다.

현재 생물학적인 처리공법으로 많이 사용되고 있는 활성슬러지법의 경우 충격부하에 대한 연구가 많이 진행되고 있으나(Adams and Eckenfelder, 1970 ; Grady, 1971 ; Saleh and Gaudy, 1978 ; Manickam and Gaudy, 1985 ; Salvado and Gracia, 1993 ; Rozich and Gaudy, 1985), 반응기 내의 미생물 농도가 낮고, 유기물 부하율의 범위가 적어 공정의 안정성과 처리효율에 많은 제약이 따르는 실정이다.

활성슬러지 공정에서 수리학적 충격나 농도충격부하가 처리장에 가해지면 최종 유출수의 탁도에 영향을 미친다고 한다. 충격부하의 기간이 길면 침전조에 미치는 영향은 증대되며 같은 유기물부하의 경우 유입 유기물량 공급율이 같으므로 유출수에 미치는 영향은 같아야 한다. Adams와 Eckenfelder(1970)의 연구에 의하면 탁도의 증가는 운전조건, 최종 침전조의 크기 및 형상에도 영향이 있지만 농도충격보다 수리학적 충격이 유출수의 탁도를 증가시킨다고 하였다. 그러나 Manickam과 Gaudy(1985)의 연구에서는 활성슬러지 공정에 수리학적 충격과 농도충격부하를 가했을 때, 처리수의 수질악화의 원인은 주로 수리학적 충격에 기인하는 부유물질의 증가와 유기물 충격부하에 따른 용해성 COD의 증가에 기인하는 것으로 나타나나, 수리학적 부하보다는 유입수 농도 증가에 따른 농도부하 충격이 유출수의 COD를 증가시키는 데

큰 영향을 미친다고 하였다.

한편, 독성물질의 유입으로 인한 충격부하와 비독성 기질의 증가에 따른 충격부하의 반응이 다르게 나타나는데, Rozich와 Gaudy(1985)는 유입물질의 농도 증가에 의한 유기물 충격부하는 미생물 성장율을 증대시키고 따라서 반응기내의 미생물의 농도를 증대시키나 독성물질 유입의 경우에는 반응기내 미생물의 증가율은 저하되고 한꺼번에 반응조 밖으로 미생물이 유출되므로 독성물질에 의한 충격부하는 처리장의 설계와 운전의 중요한 인자라고 하였다. Grady(1971)는 활성슬러지 공정에서 충격부하의 영향을 감소시키기 위해서 슬러지 반응이 중요하며, 슬러지 반응율을 증대시킴으로써 반응조내에서 독성물질에 대한 회석효과가 나타나기 때문이라고 하였다.

호기성 생물막공법은 지지매체 표면에 형성된 미생물막과 유기성폐수가 호기성 상태에서 접촉되므로, 단위 면적당 미생물의 농도를 높일 수 있고 비증식 속도가 적은 미생물도 성장이 가능하며 대체로 부착성장하는 미생물의 경우 충격부하에 대한 저항성이 높아 타공법에 비해서 충격부하에 강한 것으로 알려져 있으나(Askew, 1966 ; Cillie, 1977 ; Cook, 1978 ; Bryan, 1982 ; Chipperfield, 1972 ; Mclellan and Bush, 1969 ; 順藤降一, 1983) 주로 살수여상에서의 충격부하에 관한 연구이며 플라스틱 매디아를 이용한 고정생물막공법이나 여러 종류의 매디아를 이용한 유동층 생물막공법의 충격부하에 관한 연구는 미미한 상태이다. 생물막 공법이 부유미생물을 이용하는 활성슬러지법보다 충격부하에 비교적 강한 것은 분산상태의 미생물 플러크와는 달리 막 표면의 미생물만이 유체에 노출되어 있고, 막속으로의 물질이동속도가 제한되므로 막표면에서의 미생물에 대한 충격이 막속으로 그대로 전달되지 않기 때문인 것 같다.

본 연구에서는 고분자수지를 직조하여 제조한 mat형 매디아를 이용한 고정생물막 반응기에 동일한 질량의 유기물 충격을 수리학적 충격과 농도 충격부하를 일정 기간 주었을 때, 유기물 저부하율과 유기물 고부하율에서 반응기에 미치는 영향과 충격 전후기간의 유출수질의 변화를 조사하여 처리율과 충격후 정상상태로의 회복기간을 도출하

여 실제 현장적용시 기초자료로 이용하고자 한다.

2.1.2 사용 미디어

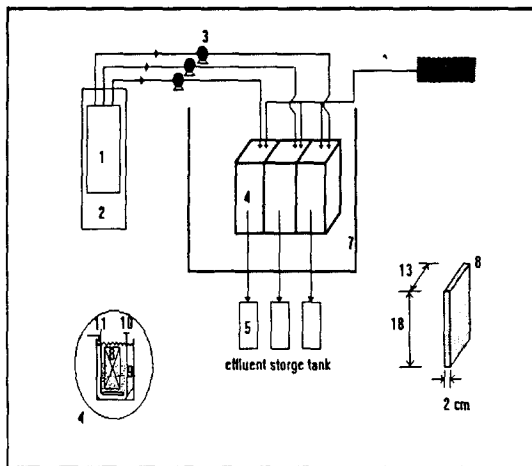
실험에 사용한 미디어는 SARAN 1000D이며, 미디어의 특성은 Fig. 1과 같이 비표면적이 $400\text{m}^2/\text{m}^3$ 인 망상형의 생물접촉재로 일정크기로 잘라 반응조내 고정 설치하였으며, 미디어 충전율은 반응조 유효부피비로 40%로 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 장치 및 사용 미디어

2.1.1 실험장치

본 실험에 사용한 고정생물막 공법 실험장치는 Fig. 1과 같으며, 폭기부분이 4.7ℓ, 침전조가 2.45ℓ 인 투명 아크릴로 제작한 반응기 3개를 동시에 항온조내에 설치하여 운전하였으며 각 반응조에 일정량의 폐수유입을 위해 정량주입펌프(천세(주), CX-30H)를 사용하여 하향류식으로 폐수를 공급하였다. 또한 공기공급과 폐수의 원활한 혼합을 위해 135W(공기량 140ℓ/min)의 blower(영남(주), LP -140A)에 diffuser를 연결하여 반응조 하부에 각각 2개씩 설치하였으며, 실험기간 동안의 DO는 3mg/l이상이 유지되도록 하였다. 반응조의 온도는 실험기간동안 $21\pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하였다.



- | | |
|--------------------------------|------------------|
| 1. Raw wastewater storage tank | 7. Thermosat |
| 2. Refrigerator | 8. Aeraton zone |
| 3. Micro tube pump | 9. Settling zone |
| 4. Bioreactor | 10. Baffle |
| 5. Effluent storage tank | 11. Diffuser |
| 6. Blower | |

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus of a continuous fixed-film reactor.

Table 1. Characteristics of support media.

Item	Value
Media type	SARAN 1000D
Media size (mm)	180×130×20
No. of packed media	4(EA)
Packing ratio	40 (%)
Specific surface area (m^2/m^3)	400
Specific gravity (kg m^{-3})	0.08
Media surface aera (m^2)	0.7488
Porosity (%)	97.73

2.2 초기운전

2.2.1 합성폐수 조제

본 실험에 사용된 합성폐수의 조성은 Table. 2와 같이 탄소원으로서는 글루코스를 사용하여 평균수질을 BOD 386mg/l, COD 500mg/l로 하였으며, 실험조건에 따라 일정농도로 비율을 높이면서 조제사용하였다.

Table 2. Composition of synthetic wastewater.

Compound	Quantity in 40 ℓ tap water(g)
Na_2HPO_4	5
Glucose	20
KCl	0.7
NH_2CONH_2	5
CaCl_2	0.7
NaCl	1.5
MgSO_4	0.5

2.2.2 미생물의 부착

미생물의 부착을 위해 반응조에 수돗수를 채우고 식중을 위해서 우성식품(주)의 반송슬러지(평균 MLSS : 9,800mg/l)를 60 mesh(ϕ : 0.24 mm)의 체에 걸러 반응기내에 각각 1L씩 주입하였다. 미생물의 환경조건에 대한 적용을 위해 조제한 합성폐수를 희석하여 미생물 부착을 위한 초기운전시 유기물 부하율은 0.1kgCOD/m³/d로 하였고, 침전지로 유출되는 슬러지는 재순환시켜 미생물을 부착시킨 후, 본 실험 목적에 맞는 일정농도의 합성폐수를 공급하였다. 육안으로 관찰하여 미생물의 부착이 확인되면 운전 초기조건에서 정상상태를 유도하였다. 반응기의 초기 부착미생물은 대수 증식단계에 이르다가 점차 탈리와 증식이 균형을 이루어 부착미생물이 거의 일정하고, 유출수질의 변화폭이 $\pm 15\%$ 범위일 때를 정상상태로 하여, 수리학적 충격과 농도충격 실험을 행하였다. 정상상태 도달시기는 운전조건마다 달랐으나, 대략 부착 후 10일 내지 15일이었다.

2.3 충격부하 실험방법

충격부하 실험은 초기 유입수 COD를 각각 500mg/l, 1,000mg/l로 하여 2단계 실험을 진행하였다. 1단계 실험은 초기 유입수질을 500mg/l로 하여 유출수질이 정상상태에 도달하면, 수리학적 충격실험의 경우는 유입농도를 500mg/l로 고정한 후 반응조 유입유량을 4배, 6배로 증가시켜 3일간 충격부하를 가한 후 유입 COD를 500mg/l로 하여 운전하였으며 농도충격부하 실험의 경우는 유입유량은 변화시키지 않고 유입농도를 2,000mg/l, 3,000mg/l로 증가시켜 3일간 충격부하를 가한 후 다시 유입농도를 500mg/l로 하여 운전하였다. 2단계 실험의 경우는 초기 유입수질을 1,000mg/l로 하여 1단계 실험과 같은 방법으로 실험을 진행하였는데 충격의 강도는 2배, 4배, 6배로 증가시켰다. 실험기간동안 pH, DO, 온도는 매일 측정하였으며, 유출수의 COD와 SS는 1-2일에 1회, 충격기간 동안은 4시간 단위로 분석하였다. 모든 실험의 분석절차는 Standard Methods(APHA, AWWA,

WPCF, 1992)에 준하여 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수리학적 충격

Fig. 2는 유입 COD농도 500mg/l에서 초기 HRT 13 시간, 유입유량을 8.76 l/d로 하여 정상상태 도달 후 유입유량을 각각 34.5 l/day, 51 l/day로 증가시켜 4배, 6배의 수리학적 충격을 가한 후 유출수의 변화를 나타낸 것이다.

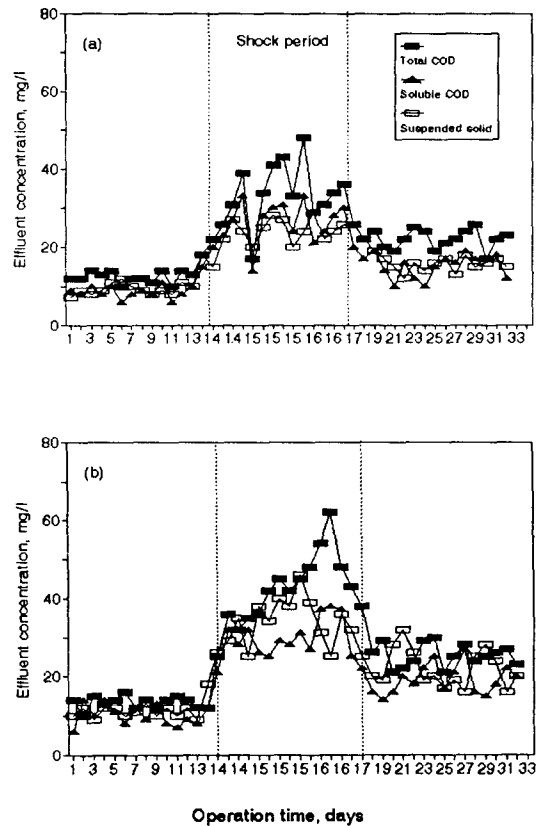


Fig. 2. Effluent COD and SS variation of fixed-film process subjected to hydraulic shock. (initial COD concentration : 500mg/l ; (a) fourfold increase, (b) sixfold increase).

충격전 정상상태에서의 유출수의 평균 TCOD는 13mg/l이었고 수리학적 부하를 4배로 증가시켰을 때 충격기간중 유출수의 TCOD는 평균 30mg/l로 나타나 충격의 영향은 적었으며, 충격이 종료된 후 정상상태의 유출수질이 평균 21mg/l로 나타나 충격전과 거의 차이가 없었다. 6배 충격시는 최초 충격후 약 68시간만에 TCOD가 최고 62mg/l로 증가하여 충격부하의 영향이 크게 나타났으며, 충격종료후 6일이 지나면서 이전의 정상상태 수질로 회복되었다. 그러나, 충격종료 후 10일간의 평균 유출수농도는 27mg/l로 충격전보다 약 13mg/l가 증가하였다. 수리학적 충격시 SCOD 농도변화는 매충격시 충격기간 동안 평균 24mg/l, 최고수질이 33mg/l로 TCOD 변화보다도 적었으며, 6배 충격의 경우도 충격기간 동안 SCOD의 평균이 28mg/l, 최고수질이 38mg/l로 TCOD보다는 변화폭이 적게 나타났다. 충격전후 유출수의 SS는 4배 충격의 경우 충격전 11mg/l에서 충격후 16mg/l로 1.5배, 6배 충격의 경우 충격전 12mg/l에서 충격후 22mg/l로 1.8배 증가하였고, 유출수질은 거의 SCOD와 비슷하였다. 이상의 결과로 볼 때 고정생물막 반응기에 수리학적 충격을 가한 경우 저농도의 경우는 충격의 영향이 크지 않음을 알 수 있었고, 침전조에서 상당한 시간 동안 체류하기 때문에 유출수의 COD와 SS가 안정적으로 유지됨을 알 수 있었다.

초기 유입수질이 COD 1,000mg/l인 경우 충격전 후 유출수질의 변화는 Fig. 3에 나타내었는데, 충격을 가하기 전 정상상태에서 평균 TCOD는 52mg/l이었다.

수리학적 부하가 2배 증가하면, 최초 충격 후 32시간만에 유출수의 TCOD는 108mg/l로 최고치를 나타내었으며, 이후 충격이 끝날 때까지 유출수질의 변화폭은 20mg/l 내외로 적었고 충격종료 이후 48시간이 경과하면서 충격의 영향은 사라져 충격전 정상상태 수질로 회복하였다. 4배 충격의 경우는 Fig. 3(b)에 나타난 바와 같이 충격 후 48시간만에 최고치인 204mg/l를 나타내어, 2배 충격의 경우와는 달리 충격이 끝난 후 충격의 영향은 4일간 지속되었다. 6배 충격의 경우는 충격기간 평균 201mg/l, 최고 386mg/l로 충격전 정상상

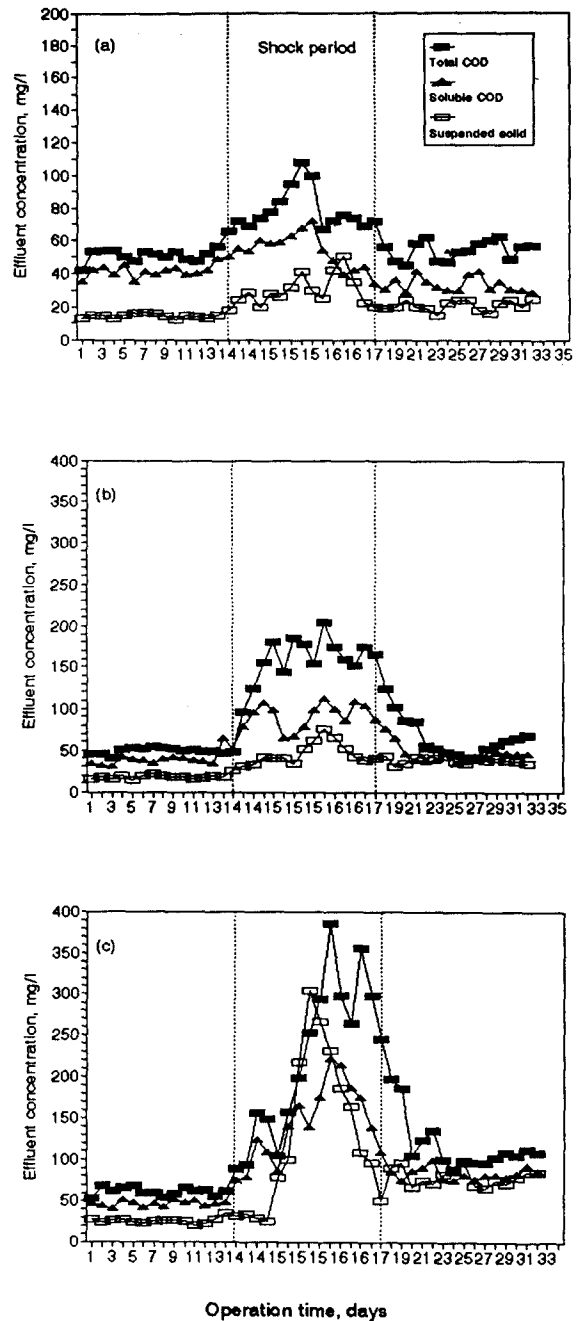


Fig. 3. Effluent COD and SS variation of fixed-film process subjected to hydraulic shock. (initial COD concentration : 1,000mg/l ; (a) twofold increase, (b) fourfold increase, (c) sixfold increase)

태의 농도 63mg/l에 비해 각각 3.2배, 6.1배로 증가하여 최고치를 기준으로 할 때 거의 유입유량의 증가와 같은 증가를 나타내어 반응기내에서 미생물에 의한 유기물질의 전환이 거의 일어나지 않는 것으로 판단되었다. 또한, 충격이 끝난 후 2일간은 유출수질이 급격히 감소하였으나 충격전 정상상태 수질로의 회복은 11일이 경과한 후 나타났으며, 충격후 정상상태로의 유출수질은 평균 112mg/l로 충격전 정상상태로의 평균수질 63mg/l에 비해 1.8배정도 증가하였다.

초기유입농도 1,000mg/l의 경우 충격전후의 유출수의 SS의 변화는 2배, 4배 충격의 경우 충격전 평균 15, 18mg/l에서 각각 27, 39mg/l로 나타나 약 2배와 3배 증가하였다. 6배 충격의 경우는 Fig. 3(c)에 나타난 바와 같이 충격 후 52시간 전후에 최고 304mg/l로 12배 이상 증가하여 충격의 영향이 매우 큰 것으로 나타났다.

한편, 충격전 후의 미생물 변화상태를 파악하기 위해서 각 충격시 반응조내 부유미생물 미량(glass위 한방울)을 채취하여 현미경 관찰한 결과 2, 4배의 경우 충격전후 protozoa의 관찰회수에 변동이 없었으나, 6배 충격의 경우는 사상균이 관찰되었으며 반응조에 다량의 거품이 발생하였으나, 침전지에서의 bulking 현상은 없었다.

3.2 유입 농도 충격

최초 유입수질을 COD 500mg/l, 유기물 부하율 0.92kgCOD/m³day로 운전한 후 정상상태에서 유입농도를 각각 2000mg/l, 3000mg/l로 증가시켜 3일간 충격을 가했을 때 충격전 후의 유출수질의 변화는 Fig. 4에 나타내었다.

유입농도를 4배 증가시켰을 때 충격기간 동안 유출수 COD의 변화는 충격후 40시간 전후에 최고의 유출수 농도 162mg/l를 나타내었으며 이후 32시간 동안 완만한 감소를 보였고 충격이 종료된 후 2일이 지나면서 후 정상상태로 회복되었다. 그러나, 유입농도가 6배 증가하는 경우는 충격초기 24시간에서도 유출수질은 급격히 증가하여 반응조내 미생물의 충격흡수 효과는 거의 나타나지 않았으며, 충격을 가한 후 48시간 전후에서 최고치인

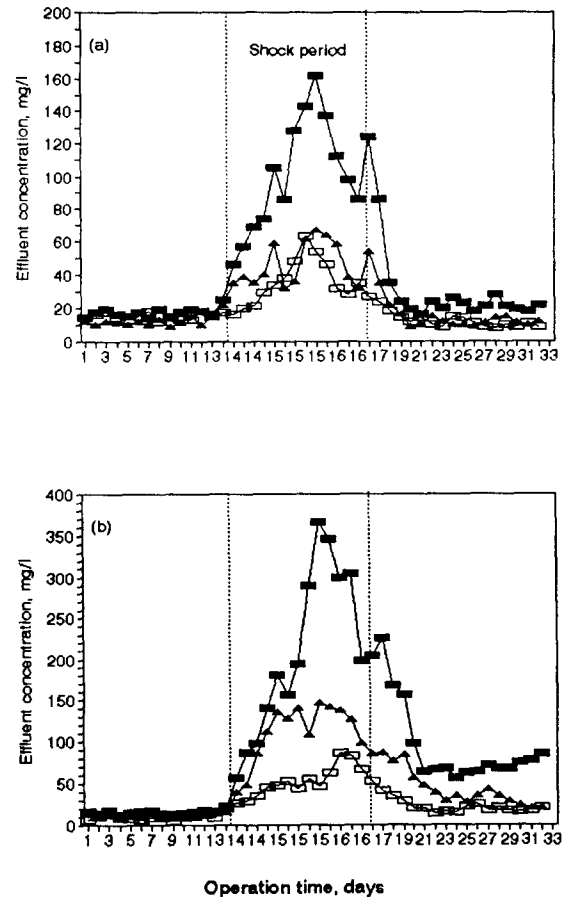


Fig. 4. Effluent COD and SS variation of fixed-film process subjected to quantitative shock. (initial COD concentration : 500mg/l ; (a) fourfold increase, (b) sixfold increase)

366mg/l의 유출수질을 보였고 충격이 종료된 후 4일만에 유출수질은 86mg/l을 나타내어 충격전 평균 COD농도 15mg/l보다 5.7배 이상 증가하였고 충격종료 후 9일이 경과한 후 이전 수질로 회복되었다.

유입농도 4배 충격시 유출수 SS 변화는 충격을 가한 후 24시간 동안은 거의 충격의 영향이 나타나지 않았으나, 그 이후부터 유출수의 SS는 급격히 증가하여 40시간 전후에 최고치인 63mg/l를 보인 후 완만히 감소하는 현상을 충격종료 시점인 72시간까지 지속하였고, 충격이 종료된 후 TSS는

급격히 감소하여 충격전 정상상태로 회복되었다. 그러나, 6배 충격의 경우는 충격 후 8시간이 지나면서 급격한 TSS의 증가가 나타났으며, 24시간 동안은 3배의 충격과 유사한 변화를 보였고 충격 후 64시간 전후에 최고값인 86mg/l를 보여 충격 전 정상상태의 평균농도 9mg/l보다 8배 이상 증가하였다. 충격이 끝난 후 유출수질은 3배 충격시와 같은 급격한 수질회복은 보이지 않았으며 7일이 경과한 후 충격전 정상상태의 수질로 회복됨을 알 수 있었다.

반응조의 유입수질을 COD농도로 1,000mg/l, 유기물부하율 2.18kgCOD/m³·day로 하여 유입농도를 2배, 4배 및 6배로 72시간의 충격을 가했을 때 충격전 후의 유출수질의 COD변화는 Fig. 5에 나타내었는데, 초기농도 500mg/l로 충격을 가한 것과 비교할 때 변화폭이 상당히 심하였다.

2배 농도충격의 경우는 충격후 44시간까지는 충격의 영향이 거의 나타나지 않아 수리학적 충격의 경우와 비슷한 양상을 나타내었으며, 48시간 전후에 COD가 최고치인 128mg/l을 보였고 충격의 종료후 24시간이 지나면서 유출수질은 감소하기 시작하여 5일이 지난 후 부터 충격전 정상상태의 수질을 회복하였다. 4배 충격의 경우는 충격후 18시간이 경과하면서 충격의 영향이 나타났으며 충격 후 72시간 전후에 최고값인 712mg/l의 유출수 농도를 나타내었다. 이후 충격이 종료될 때까지 20시간은 충격에 적응하여 평균 306mg/l의 수질을 보였고 충격종료 후 48시간이내에 유출수의 농도는 급격히 감소하여 7일이 경과한 후 충격전 정상상태의 수질로 회복됨을 알 수 있었다. 6배의 경우는 2배, 4배 충격의 경우보다 유출수의 COD 농도변화 폭이 매우 크게 나타나, 최초 충격 후 12시간 전후부터 충격의 영향이 나타나기 시작하여 충격 후 68시간 전후에 최고치의 유출수질 1180mg/l를 보였다. 충격종료 후 8시간이 지나면서 유출수질은 684mg/l로 최고치의 42%가 감소하여 빠른 회복률을 나타내었고, 충격종료 후 8시간부터 3일간은 새로운 정상상태 영역을 보였으며, 그 이후 부터는 유출수질이 완만히 떨어졌으나, 충격종료 후 3일부터 7일이 경과해도 유출수 농도는 평균 303mg/l를 나타내어 이전의 정상상

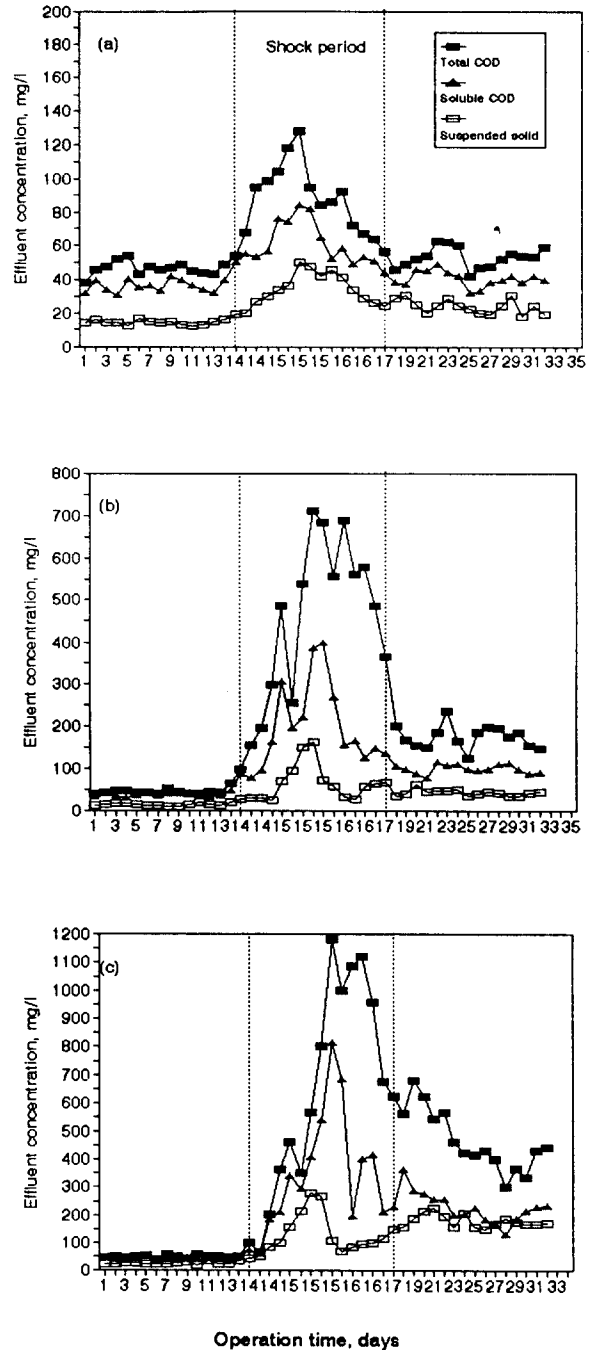


Fig. 5. Effluent COD and SS variation of fixed-film process subjected to quantitative shock. (initial COD concentration : 1,000mg/l ; (a) twofold increase, (b) fourfold increase, (c) sixfold increase)

대 유출수질로는 회복되지 않았다. 유출수의 SCOD 농도변화는 2배 충격의 경우는 거의 영향이 없었으나 4배, 6배의 충격의 경우 충격부하전보다 충격후 정상상태의 수질이 2.8배, 4.3배밖에 증가되지 않아 상대적으로 TCOD보다는 영향이 적은 것으로 나타났다.

한편, SS의 변화는 2배의 충격의 경우는 충격이 거의 끝날 무렵에 약간의 SS 증가를 보였으나, 4일후엔 25mg/l로 회복되어 반응기내 미생물에 영향이 거의 없음을 알 수 있었으나, 4배 충격의 경우는 최초충격 후 38시간이 경과할 때까지는 완만한 증가를 보였으나 그 이후는 급격히 증가하여 최고 163mg/l의 농도를 나타내었고, 충격이 끝난 후 2일이 경과하였을 때 유출수는 최고값에 비해 52% 정도 감소하였으며 충격종료 후 5일이 지난 후부터는 41mg/l로 최고치에 비해 75%의 감소를 나타내었다. 6배의 경우는 TCOD의 경우와는 달리 충격이 끝난 후에도 8시간 동안은 계속적인 SS의 증가를 보여 최고 278mg/l의 유출수질을 나타내었고, 충격후 정상상태 도달 기간도 15일 이상 소요되었고 수질은 충격전 정상상태보다 6.3

배 정도 증가한 195mg/l였다.

Table 3과 Table 4는 실험결과를 종합한 것으로 최초 유입수질이 COD기준 500과 1000mg/l에서 수리학적 충격과 농도충격시 충격전 정상상태, 충격기간 및 충격이 종료된 후 10~15일 기간의 유출수의 TCOD, SCOD, SS를 평균하여 비교한 것이다.

최초 유입농도가 500mg/l인 경우는 Table 3에 나타난 바와 같이 같은 유기물량 부하율에서 4배 충격이 가해졌을 때, 농도충격이 수리학적 충격보다 유출수질에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며 충격기간 중 평균수질과 최고수질도 농도충격의 경우가 수리학적 충격의 경우보다 높으며 특히 유출수질도 충격전 정상상태에 비해 증가함을 알 수 있다. 6배 충격이 가해졌을 경우 농도충격의 경우는 이 경향이 더욱 뚜렷하게 나타나 충격기간 중 평균수질은 수리학적 충격인 경우 39mg/l에 비해 농도충격의 경우 258mg/l로 6.6배 증가하였고 유출수질에 미치는 영향은 충격전에 비해 상당한 영향이 지속됨을 알 수 있었다.

최초 유입농도가 COD 1,000mg/l인 경우는

Table 3. Concentration of COD and SS leakage during pre-shock, transient and post-shock states.
(Initial feed concentration = 500 mg/l).

Effluent characteristics	Pre-shock mg/l	Shock period		Post-shock mg/l	Pre-shock mg/l	Shock period		Post-shock mg/l
		mg/l ^a	Net mg/l			mg/l ^a	Net mg/l	
	Si = 500 mg/l HRT = 13 hr		Si = 500 mg/l HRT = 3.2 hr		Si = 500 mg/l HRT = 13 hr		Si = 2,000 mg/l HRT = 13 hr	
Xe	11	25(30)	7	16	15	30(63)	19	17
S _{et} (TCOD)	13	30(48)	9	21	17	93(162)	67	26
S _e (SCOD)	9	24(33)	8	16	12	38(67)	26	12
	Si = 500 mg/l HRT = 13 hr		Si = 500 mg/l HRT = 2.1 hr		Si = 500 mg/l HRT = 13 hr		Si = 3,000 mg/l HRT = 13 hr	
Xe	12	30(46)	8	22	9	55(86)	21	21
S _{et} (TCOD)	14	39(62)	12	27	15	258(366)	172	86
S _e (SCOD)	11	28(38)	8	20	10	96(147)	67	29

Note : ^a Values in brackets are the peak values during shock periods.

Xe = Suspended solids in clarifier overflow.

S_{et}(TCOD) = Total COD in clarifier overflow.

S_e(SCOD) = Soluble COD in clarifier overflow.

Table 4. Concentration of COD and SS leakage during pre-shock, transient and post-shock states. (Initial feed concentration = 1,000 mg/l).

Effluent characteristics	Pre-shock	Shock	period	Post-shock	Pre-shock	Shock	period	Post-shock
	mg/l	mg/l ^a	Net mg/l	mg/l	mg/l	mg/l ^a	Net mg/l	mg/l
	Si = 1,000 mg/l HRT = 11 hr		Si = 1,000 mg/l HRT = 5.58 hr		Si = 1,000 mg/l HRT = 11 hr		Si = 2,000 mg/l HRT = 11 hr	
Xe	15	27(51)	6	21	15	22(50)	-3	25
S _{et} (TCOD)	52	84(108)	27	57	47	72(128)	15	57
S _e (SCOD)	43	51(72)	17	34	36	57(84)	13	42
	Si = 1,000 mg/l HRT = 11 hr		Si = 1,000 mg/l HRT = 2.75 hr		Si = 1,000 mg/l HRT = 11 hr		Si = 4,000 mg/l HRT = 11hr	
Xe	18	39(76)	19	39	14	55(163)	-14	41
S _{et} (TCOD)	50	136(204)	61	75	43	306(712)	129	177
S _e (SCOD)	38	88(112)	38	49	36	161(398)	59	102
	Si = 1,000 mg/l HRT = 11 hr		Si = 1,000 mg/l HRT = 1.88 hr		Si = 1,000 mg/l HRT = 11 hr		Si = 6,000 mg/l HRT = 11 hr	
Xe	25	85(304)	3	82	25	103(278)	-12	195
S _{et} (TCOD)	63	201(386)	83	112	50	420(1180)	17	403
S _e (SCOD)	45	155(221)	69	86	42	262(812)	78	184

Note : ^a Values in brackets are the peak values during shock periods.
 Xe = Suspended solids in clarifier overflow.
 S_{et}(TCOD) = Total COD in clarifier overflow.
 S_e(SCOD) = Soluble COD in clarifier overflow.

Table 4에 나타난 바와 같이 충격의 영향이 더욱 뚜렷이 나타나 수리학적 충격인 경우 2, 4, 6배 가 해져도 6배 충격의 경우를 제외하면 충격전후 유출수의 COD와 SS는 그 영향이 적었다.

그러나, 농도충격의 경우 2배 충격을 제외하면, 4배의 경우 충격전 COD 43mg/l에서 177mg/l로 6배 충격의 경우 50mg/l에서 403mg/l로 각각 4.1 배, 8배로 증가하여 상당한 영향을 미치는 것으로 판단된다. 특히 6배 충격인 경우 충격전 수질로의 회복은 충격종료 10일이 지나도록 나타나지 않았다. 한편 SS의 경우는 2, 4배 충격의 경우 침전조의 영향으로 유출수질이 크게 악화되지 않았으나 6배 충격의 경우는 유출수질이 충격전 정상상태의 수질보다 7.8배 증가하여 침전조의 역할이 수질개선에 크게 기여하지 않는 것으로 나타났다.

유출수의 SCOD 변화는 수리학적 충격의 경우 유출 TCOd 변화폭에 비해서 상대적으로 변화폭

이 매우 적었으며 농도충격의 경우는 2배 충격의 경우 SCOD 변화는 적었으나, 4배, 6배 충격의 경우는 농도충격의 영향으로 변화폭이 크게 나타났다. TCOd 변화폭에 비해서는 상대적으로 적은 것을 알 수 있었다. 실험범위의 초기 유입수질에서 4배, 6배 농도충격의 경우 유출수의 TCOd와 SCOD의 변화폭이 큰 것은 Manickam과 Gaudy (1985)가 활성슬러지공정에 농도충격이 가해지면 미생물 성장이 바뀌어서 부유물질의 유출이 증가된다고 보고한 바와 같이 고정생물막 반응기에서도 매디아에 부착된 미생물의 성장변화로 많이 유출되었던 것으로 사료되었다.

각 충격시 같은 유기물 부하율에서 이와 같이 수리학적 충격과 농도충격의 영향이 다르게 나타나는 것은 각 경우 반응기 내에서의 미생물학적 반응 메카니즘과 충격에 반응하는 반응기내의 완충능력이 서로 다르기 때문으로 사료된다.

또한, 농도충격의 경우는 유입농도가 유출수 농도에 직접 영향을 미치는 것에 비해, 수리학적 충격에서는 반응기내의 희석효과와 함께 수리학적 체류시간의 단축으로 인해 반응기와 침전조에서 기질이 빠른 속도로 유출되기 때문이며, 침전조가 생물반응기로 작용하여도 두 충격의 경우 반응상태가 똑같다고 말할 수 없기 때문에 이러한 차이가 있는 것으로 판단되었다.

3.3 충격부하에 따른 유기물 제거효율

초기 유입농도 1,000mg/l, 유기물 부하율 2.18kgCOD/m³day에서 수리학적 충격과 농도충격을 2배로 가한 경우 유기물 제거효율을 비교하면 Fig. 6에 나타난 바와 같이 2배의 수리학적 충격의 경우는 95% 처리효율에서 충격 후 32시간 전후에 89.2%까지 감소하였고, 그 이후 완만히 제거효율이 증가하여 충격의 종료 후 1일 동안에 91.4%로 회복되었으며 2일이 경과하면 이전 제거효율로 거의 회복됨을 알 수 있었다. 유입 농도충격의 경우는 충격 시작후 2일까지는 제거효율에 큰 변화가 없으나 3일부터 제거효율이 떨어져 충격종료후 1일이 경과하는 시점에서 제거효율이 87.8%로 가장 낮았으며 충격 종료후 5일이 지나서 부터 제거효율이 충격전 정상상태로 회복됨을 나타내고 있다.

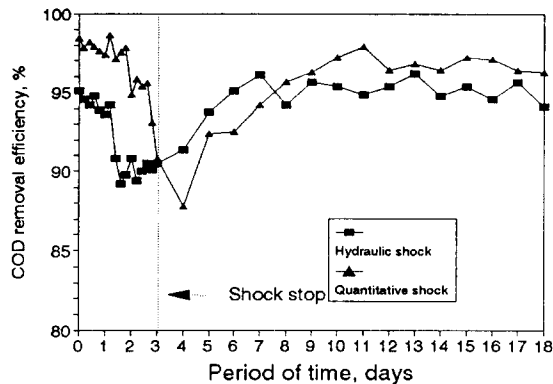


Fig. 6. Comparison of COD removal efficiency between hydraulic and quantitative shocks (twofold shock).

Fig. 7은 초기 유입 COD 1,000mg/l에서 4배 충격을 가한 경우에 두 충격의 제거효율을 비교하여 나타낸 것이다. 충격기간 동안 제거효율의 변화는 2배 충격의 경우와 비슷한 경향을 나타내었으나 수리학적 충격의 경우 제거효율이 충격전 94%에서 최저 79%로 감소하였으며 충격후 4일만에 92%로 회복되었으며, 4일 이후에 충격전의 제거효율로 회복되었다. 농도충격의 경우는 충격이 종료된 시점에서 유기물제거효율이 52%로 가장 낮았으며, 충격 종료 4일 후에 제거효율이 89%로 회복되었으며 7일후에는 충격전 정상상태의 제거효율로 회복되었다.

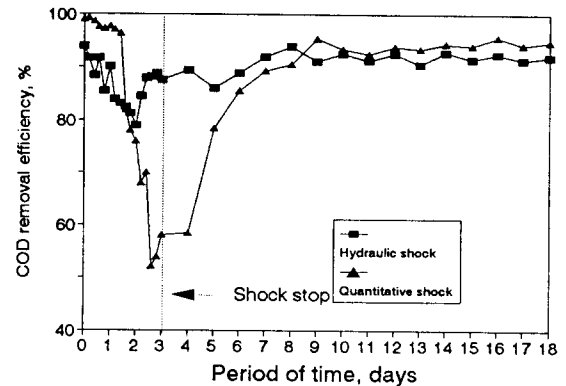


Fig. 7. Comparison of COD removal efficiency between hydraulic and quantitative shocks (fourfold).

충격부하가 6배의 경우는 Fig. 8에 나타난 바와 같이 수리학적 충격의 경우 충격종료 후 2일만에 85%로 회복되었고, 11일의 경과한 후 이전 수질로 완전히 회복된 것에 비해, 농도충격의 경우는 충격기간 동안 제거효율이 최대 37%까지 감소하였으며 7일의 경과 후에도 제거효율이 약 80% 정도 밖에 회복되지 않았으며, 충격이 종료된 후 15일이 경과하여도 충격전 정상상태의 제거효율로는 회복되지 않았다. 실험범위에서 2배 충격을 제외하고는 농도충격의 영향이 수리학적 충격시보다 충격기간 동안에 제거효율이 최대 2배 이상 크게 나타나, 농도충격부하가 제거효율에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

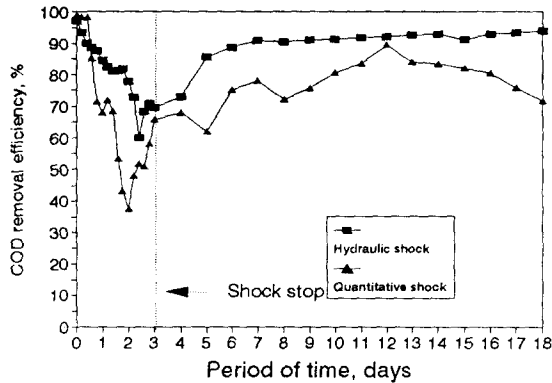


Fig. 8. Comparison of COD removal efficiency between hydraulic and quantitative shocks (sixfold shock).

6배의 수리학적 충격과 농도충격시 최초 충격을 가한 시점을 기준으로 하여 유출수의 COD가 최고 수준에 도달하는 경과 기간을 보면 최대 유출수 수질은 유기물 부하율 5kgCOD/m³day이하에서는 충격후 대략 32 - 48시간이다. 수리학적 충격과 유기물 부하 충격에서는 수리학적 충격에서 최고수질이 먼저 나타나며 충격전 제거효율로 회복기간은 수리학적 충격이 4 - 12일로 농도충격의 5 - 15일에 비해 1 - 3일이 적게 소요됨을 알 수 있었다. 또한 유기물질 부하율 13kgCOD/m³day에서는 유출수의 최고 수질 도달시 경과기간이 수리학적 충격의 경우는 32~56시간이며 농도충격일 경우는 52~86시간으로 나타나 농도충격의 경우가 충격의 영향이 더 큼을 알 수 있었다. 충격후 정상상태로의 도달기간은 수리학적 충격의 경우 6~10일, 농도충격의 경우는 9~15일이 소요되어 농도충격의 경우가 3~5일 정도 더 길게 소요되었다. 전체적으로 보면, 수질의 회복기간은 부하율이 낮을수록 짧고 수리학적 충격이 농도충격보다 짧음을 알 수 있었다.

4. 결론

호기성 고정생물막 반응기에 합성폐수를 사용하여 초기유입 COD를 500mg/l 및 1000mg/l로 하여 2, 4, 6배의 수리학적 충격과 유입 농도충격을 가

한 후 충격기간, 충격전후의 유출수질 변화를 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 같은 유기물 부하조건에서 농도충격과 수리학적 충격의 영향이 유출수질에 미치는 영향은 다르게 나타났으며 충격의 강도가 클수록 이 현상은 더욱 뚜렷하였다.
2. 실험범위에서 수리학적 충격보다 농도충격이 유출수의 TCOD 및 SS 농도에 미치는 영향이 더 크며 수질악화의 정도는 충격의 강도가 클수록 커지나 SCOD의 경우는 충격의 강도가 낮을 때에는 큰 차이가 나타나지 않았다. 또한 충격정도가 낮은 경우는 침전조가 충격부하를 완화하는 완충역할을 하는 것으로 나타났다.
3. 같은 유기물 부하율에서 충격기간 중 유출수 TCOD 평균 수질과 최고수질은 유기물 농도충격의 경우가 수리학적 충격의 경우보다 더 크며 충격의 강도가 증가할수록 그 차이도 더 크게 나타나 저부하율에서는 2.8~4.2배, 고부하율에서는 5.2~6.6배로 나타났다.
4. 최초충격을 가한 시점을 기준으로 하여, 유출수의 COD가 최고 수준에 도달하는 경과시간은 유기물 부하율 5kgCOD/m³/d이하에서 대략 32-48시간, 5kgCOD/m³/day 이상에서는 52~72시간이었으며 충격종료 후 충격전 수질로 회복기간은 수리학적 충격의 경우는 2~10일, 농도충격의 경우는 5~15일로 수리학적 충격의 경우가 1~5일이 적게 소요되었으며 농도충격의 경우 충격후의 유출수질이 충격전보다 대체로 증가하였다.

감사의 말씀

본 논문은 1992년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구 조성비에 의한 연구의 일부입니다.

참고 문헌

Adams, C.E. and W.W., Eckenfelder, Response of Activated Sludge to Organic Transient

- Loadings. J. Sann, Eng. Div., Proc. Am. Sec. Civ. Eng., 96, 333-352, 1970.
- APHA, AWWA, WPCF., 1992, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed.
- Askew, M. M., 1970, High-rate Biofiltration : Past and Future, Water Pollution Control, 69, 445-452.
- Bryan, E. H., 1982, Development of Synthetic Media for Biological Treatment of Municipal and Industrial Wastewaters, Proceedings of the 1st International Conf. on Fixed-Film Biological Process ; Kings Island, Ohio, 89-114.
- Chipperfield, N. P., 1967, Performance of Plastic Filter Media in Industrial and Domestic Waster Treatment, J.WPCF., 44, 1955-1967.
- Cillie, G. G., 1977, The Effect of Toxic Loads Effluent Purification System, Water SA., 3, 83-89
- Cook, E. E., and L. P., Hering, 1978, Shock Load Attenuation, Trickling Filter, J. Environ. Eng. Div.. ASCE, 104, 461-469.
- Gaudy, C. P. L., 1971, A Theoretical Study of Activated Sludge Transient Resp onse, Proceedings, 26th Purdue Ind. Water Conf., 318-335.
- Manickam, T. S., and A. F. Jr., Gaudy, 1985, Comparison of Activated Sludge Response to Quantitative, Hydraulic, and Compined shock for the Some increases in Mass loading, J. WPCF., 57, 241-251.
- McLellan, J. C., and A. W., Bush, 1969, Hydraulic Process Aspects of Reactor Design II. - Response to Variations, Proceedings, 24th Purdue Ind. Waste Conf., 493-506.
- Rozich, A. F., and A. F. Jr., Gaudy, 1985, Response of Phenol-Acclimated Activated Sludge Process to Quantitative Shock Loading, J. WPCF, 57, 795-803.
- Saleh, M. M., and A. F., Gaudy, 1978, Shock Load Response of Activated Sludge Operated at Constant Recycle sludge Concentration, J. WPCF., 51, 2033-2040.
- Salvado, M. and N. P., Gracia, 1993, Determination of Organic Loading Rate of Activated sludge Plant, Based on Protozoan Analysis, Wat. Res., 27, 891-895.
- 須藤隆一, 1985, 生物相からみたそま処理機能の 診断, 産業用水調査會, 251-254.