

論 文

활성슬러지공정의 수리학적 충격부하 반응

Hydraulic Shock Load Response of Activated Sludge Process

황규대* · 김민호** · 고새봄*** · 조철휘****

Whang, Gye Dae* · Kim, Min Ho** · Ko, Sae Bom*** · Cho, Chul Hwi****

Abstract

The objective of study was to examine to transient response of hydraulic shock loading in activated sludge process for treatment of municipal sewage. The general experiment approach was to operate the system under steady-state(pre-shock), then to apply step changes during 24hours in fourfold hydraulic shock loading at the same organic loading. Performance was assessed in both the transient state and the new steady-state(post-shock). Three bench scale activated sludge reactors were operated to investigate the effect of fourfold hydraulic shock loading on TSS and COD removal efficiency.

In activated sludge reactors operated with 13hours and 7hours of HRT, effluent quality of all reactors was not changed for few effects, and also showed no foaming and no sludge bulking. Those results are the same as sludge withdrawn reactors. The effect of fourfold hydraulic shock loading on the activated sludge reactors operated with 3hours of HRT was most severe. The effluent quality was deteriorated significantly and generate foaming in reactors. Less than 24hours after the fourfold shock loading was applied, the activated sludge system seemed to attain a new steady-state condition as show by effluent.

1. 서 론

도시하수의 처리에 있어서 가장 경제적이면서 가장 좋은 처리방법은 생물학적 처리방법이

다. 국내 하수처리장에서 적용되고 있는 대부분 처리방법은 역시 생물학적 처리방법인 활성슬러지공정이 약 85% 이상을 차지하고 있다.1) 이와같은 생물학적인 처리방법을 성공적으로 운전·관리하기 위해서는 미생물 성장에 적합한 운전조건을 일정하게 유지시켜 주는 것이 무엇보다 중요하다. 실제 도시하수를 처리하는 생물학적 공정에서 미생물 성장조건을 변화시키는 여러요인이 발생되고 있는데 그런 요인중에서 처리효율에 영향을 미치는 요인은 유

* 경희대학교 환경학과 교수

** 경희대학교 환경학과 박사과정 수료

*** 경희대학교 환경학과 석사

**** 경희대학교 환경학과 석사과정

입유량 변화에 의한 수리학적 충격부하 (Hydraulic shock loading), 유입수 성상변화에 의한 충격부하 (Qualitative shock loading), 유입수 성상은 변하지 않으면서 단지 유입 농도 변화에 의한 충격부하 (Quantitative shock loading) 및 독성물질, 온도 또는 pH 등에 의한 충격부하 등이 발생할 수 있다. 2), 3) 4), 5), 6), 7), 8) 이와같은 충격부하는 미생물의 안정성과 처리 효율에 영향을 미치는데 대부분 하수처리장 설계시 미생물의 안정성에 대한 동력학적 영향은 정상상태에서 일어난 결과를 이용한다. 3) 그러나 하수처리장에서는 순간적인 유입유량과 유입수질 변화에 대해 안정된 처리수 수질을 유지할 수 있는 운전조건의 도출은 매우 중요하다. 그러나 이에 대한 연구가 일부 수행되었으나 환경변화가 미생물에 미치는 영향은 아주 복잡하고 광범위하여 충격부하에 대한 실질적인 예방책이나 충격부하 저감을 위한 대책이 미비한 실정이다. 6), 7)

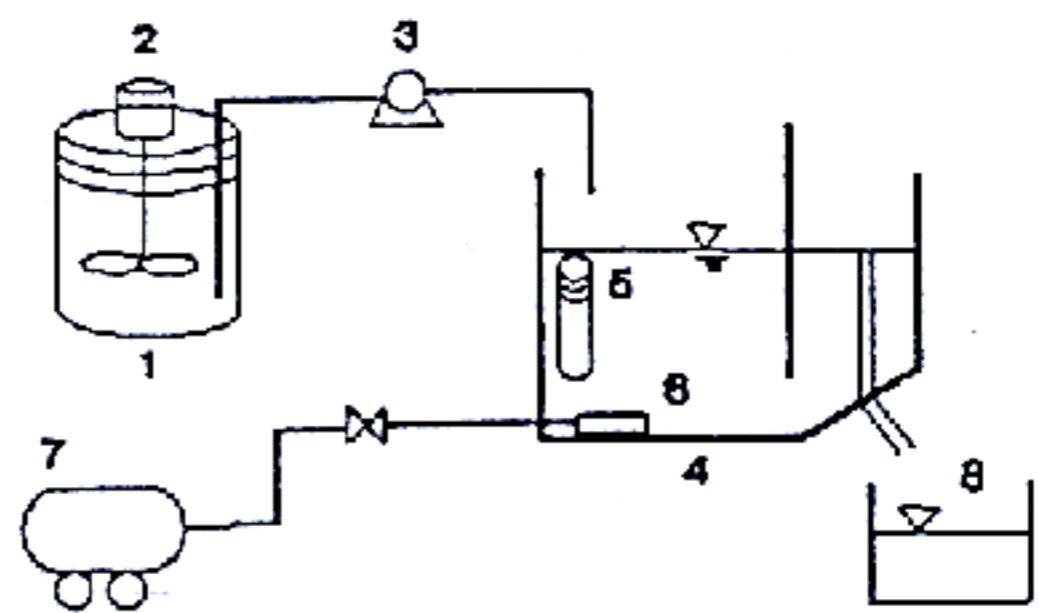
활성슬러지공정에서 수리학적 충격부하 등과 같은 충격이 발생되면 일차적으로 최종 처리수의 부유물질 농도에 가장 큰 영향을 미치며 또한 유기물질 농도에도 영향을 미친다. 그리고 포기조내 거품발생 현상 등이 발생하게 된다. 이와같은 충격부하는 처리장의 설계와 운전에 있어서 중요한 인자라 할 수 있다. 2), 3), 6) 일반적으로 수리학적 충격부하는 작업공정형태, 주민의 생활습관, 지역적인 기후, 처리장의 이상상태 발생 등에 따라 하수의 유입유량이 변화되기 때문에 현장 처리장에서 가장 빈번히 발생되고 있으므로 이에 대한 대책이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 도시하수 처리를 위한 활성슬러지공정에서 수리학적 충격부하를 일정기간 주었을 때 충격부하 전·후기간의 유출 수질의 변화를 조사하여 처리공정에 미치는 영향을 파악하고 충격후 정상상태로 회복되는 기간을 도출하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1. 실험 장치

실제 하수처리장에 설치된 실험실 규모의 연속식 반응조는 무색 투명한 아크릴로 제작되었으며 실험장치의 개략도는 그림 1과 같이 반응조의 총량은 7L이며 포기조와 침전조에 칸막이가 설치되어 있으며 포기조와 침전조의 용량은 각각 5L와 2L로 하였다. 침전조에 침전한 슬러지가 포기조에서 포기로 인한 혼합액의 순환작용에 의해 포기조로 반송될 수 있는 반응조를 사용하였다. 실험기간중 반응조 온도는 온도조절기를 이용하여 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하였으며 포기조내 용존산소는 공기압축기 (air-compressor)에 의한 미세 산기관을 사용하여 조절하였다. 또한 반응조 운전 중 수시로 용존산소 농도를 측정하여 용존산소 부족으로 인한 호기성 미생물의 환성도 저하를 방지하였다. 실제 하수처리장 유입수를 펌프에 의해 반응조 원수통에 방류되면서 포기조에 유입되는 유입수는 기질의 농도를 균일하게 유지하기 위하여 원수통에 모터를 부착한 혼합기를 사용하여 완전·혼합시켰으며 유입관에 slim이 형성되어 기질의 농도변화와 관이 막혀 유입량이 줄어드는 것을 방지하기 위해 유입관을 수시로 세척하였다. 실험실규모 반응조는 총 3대를 운영하였으며 반응조의 종오니 (seed sludge)는 현상 하수처리



1 : Feed Reservoir 5 : Thermo-Controller
 2 : Mixer 6 : Diffuser
 3 : Peristaltic Pump 7 : Air Compressor
 4 : Aeration Tank 8 : Effluent Tank

그림 1. 활성슬러지의 실험장치

장의 반응슬러지를 유입수에 순응시켜 실험을 수행하였다.

2.2 실험 방법

실험에 사용된 유입수는 경기도 수원시 S전자 기숙사 및 식당에서 배출되는 하수를 처리하는 하수처리장 유입수를 이용하였으며 이 유입수를 24시간동안 가동된 펌프에 의해 원수통에 방류되도록 하였다. 이때 원수통의 유입수는 정량펌프를 이용하여 각 포기조에 일정하게 주입하였다.

국내 저농도 도시하수 처리장에서 발생된 수리학적 충격부하가 처리효율에 미치는 영향을 분석하기 위하여 정상상태(Pre-shock), 수리학적 충격부하상태(Shock period) 및 새로운 정상상태(Post-shock)의 과정을 거치는 동안 반응조의 운전조건은 표 1과 같다. 반응조 Set

#1 실험에서 HRT는 주중에는 13시간, 주말에는 16시간, 반응조 Set #2 경우 주중에는 7시간, 주말에는 10시간 그리고 반응조 Set #3 경우 주중에는 3시간, 주말에는 5시간으로 조정하면서 실험을 수행하였다. 실제 하수처리장에서 주중과 주말에 유입되는 유량변화를 고려하여 월요일 오후에서 금요일 오전까지는 주중 운전조건으로, 금요일 오후에서 월요일 오전까지는 주말 운전조건으로 구분하여 HRT를 운전하였다. MLSS 농도는 SRT에 따라 각각 800mg/l, 1500mg/l, 2300mg/l 내외로 유지하였고 또한, 반응조 Set #2, #4, #6의 경우 수리학적 충격부하전 슬러지를 인출하여 각각 600mg/l, 900mg/l, 1300mg/l 내외로 조정 후 충격을 가하였다. MLSS 농도는 포기조와 침전조 사이의 칸막이를 열고 완전·혼합시킨 후 일정량을 채취하여 분석하였고 잉여슬러지

표 1. 실험기간동안 반응조의 운전조건

반응조 번호	MLSS(mg/l)	SRT(day)	HRT(hr)	
			정상상태 (충격전)	교란상태 (충격중)
반응조 Set #1	No.1 800	10	13(17)	3.25
	No.2 1500	20	13(17)	3.25
	No.3 2300	30	13(17)	3.25
반응조 Set #2	No.1 800/600	10	13(17)	3.25
	No.2 1500/900	20	13(17)	3.25
	No.3 2300/1300	30	13(17)	3.25
반응조 Set #3	No.1 800	10	7(10)	1.75
	No.2 1500	20	7(10)	1.75
	No.3 2300	30	7(10)	1.75
반응조 Set #4	No.1 800/600	10	7(10)	1.75
	No.2 1500/900	20	7(10)	1.75
	No.3 2300/1300	30	7(10)	1.75
반응조 Set #5	No.1 800	5	3(5)	0.75
	No.2 1500	10	3(5)	0.75
	No.3 2300	15	3(5)	0.75
반응조 Set #6	No.1 800/600	5	3(5)	0.75
	No.2 1500/900	10	3(5)	0.75
	No.3 2300/1300	15	3(5)	0.75

배출량은 MLSS 농도와 유출수의 TSS를 이용하여 각 반응조의 SRT에 따라 산정하였다. 운전기간중 HRT 변화에 따른 충격과 슬러지 인출에 따른 충격부하실험은 실험조건을 변화시켜 반응조를 운전할 때 마다 약 2주간의 미생물 적응기간을 거친 후 만족할만한 제거효율을 확인한 후 운전조건이 정상상태에 도달되었을 때부터 운전자료를 수집·분석하였다.

위와같은 운전조건에서 유입유량 변동에 따른 수리학적 충격부하에 효과적으로 대처할 수 있는 방안을 도출하기 위해 모든 반응소에서 24시간동안 유입유량을 정상상태일 때 보다 4배 증가시켜 수리학적 충격부하실험을 실시하였다.

2.3 분석방법

현장에 설치된 실험실 규모의 반응조로 유입되는 유입수는 하수처리장에서 폭기조로 유입되는 원수와 동일지점에서 하수를 자동 타이머가 부착된 시료채취기를 이용하여 2시간마다 채취한 24시간동안의 시료를 일정량 혼합하여 분석하였고 유출수 수질분석은 침전조를 거쳐 나오는 상등수를 24시간 동안 수집한 후 유출수통으로부터 채취하여 분석하였다. 또한, 정상상태 기간중에는 1-2일 단위로, 수리학적 충격부하기간중에는 2시간 단위로 유입수와 유출수를 채취하여 분석하였다. 분석항목은 온도, pH, TSS, TCODcr, SCODcr, MLSS 등을 측정하였으며 모든 분석은 Standard Method(17th)와 환경오염농정시험법을 따라 실시하였다. 9), 10)

3. 실험결과 및 고찰

3.1. HRT가 13시간으로 운전된 반응조에서 수리학적 충격부하 반응

HRT가 13시간으로 운전된 반응조 Set #1과 Set #2에서 24시간동안 HRT를 13시간에서 3.25시간으로(유입유량을 9.23L/day에서 36.92L/day로) 4배의 수리학적 충격부하를 실시한 결과는 그림 2와 같고 동일한 운전조건에

서 충격부하전 슬러지를 인출한 후 충격부하를 수행한 실험결과는 그림 3과 같다. 반응조 운전기간중 pH의 범위는 6.72-7.69로 나타나 pH에 의한 충격은 발생되지 않았다. 먼저, 그림 2(a)와 같이 충격부하가 시작된 후 모든 반응조에서 MLSS 농도는 약간씩 증가하는 경향을 보였다. 슬러지를 인출한 다음 충격부하를 실시한 경우는 그림 3(a)와 같이 모든 반응조에서 거의 일정한 농도를 보였는데 이는 유기물 부하량이 낮게 운전되었기 때문으로 사료된다.

그림 2(b)와 그림 3(b)에 나타난 바와 같이 충격기간중 모든 반응조에서 유출수의 TSS 농도는 약간 증가하는 경향을 보였다. 충격부하전 슬러지 인출 유·무에 관계없이 MLSS 농도가 낮게 유지된 반응조 No.1에서 평균 TSS 농도가 반응조 Set #1과 Set #2에서 모두 약 12mg/l 내외로 가장 낮게 유출되었다. 반면에, MLSS 농도가 높게 유지된 반응조 No.3의 경우 반응조 Set #1과 Set #2에서 유출수의 평균 TSS 농도가 각각 27mg/l와 20mg/l로 나타나 MLSS 농도가 낮게 유지된 반응조보다 약 2배 정도 높은 TSS 농도를 보였다. 이는 반응조 MLSS 농도가 증가될수록 TSS에 대한 충격은 크게 나타났다. 슬러지를 인출한 다음 충격부하를 가한 반응조에서 유출수의 평균 TSS 농도가 약간 낮게 나타났는데 이는 운전기간중 슬러지를 인출하지 않고 충격부하를 가한 반응조보다 TSS 농도가 낮은 유입수가 유입되었기 때문으로 사료된다.

충격부하기간중 유출수 평균 CODcr 농도변화는 그림 2(c, d)와 그림 3(c, d)에서 보는 것 처럼 슬러지 인출 유·무와 MLSS 농도변화에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 모든 반응조에서 평균 SCODcr 농도는 22-28mg/l이고 TCODcr의 경우는 41-46mg/l로 나타났다. 수리학적 충격부하의 유기물질에 대한 반응은 충격전 수질과 비교하면 충격기간중 충격강도가 약 3배 이상 나타나는 경우도 있었지만, 충격이 종료된 후 유출 수질은 충격전 수질로 빠르게 회복되는 경향을 보여 3-6시간

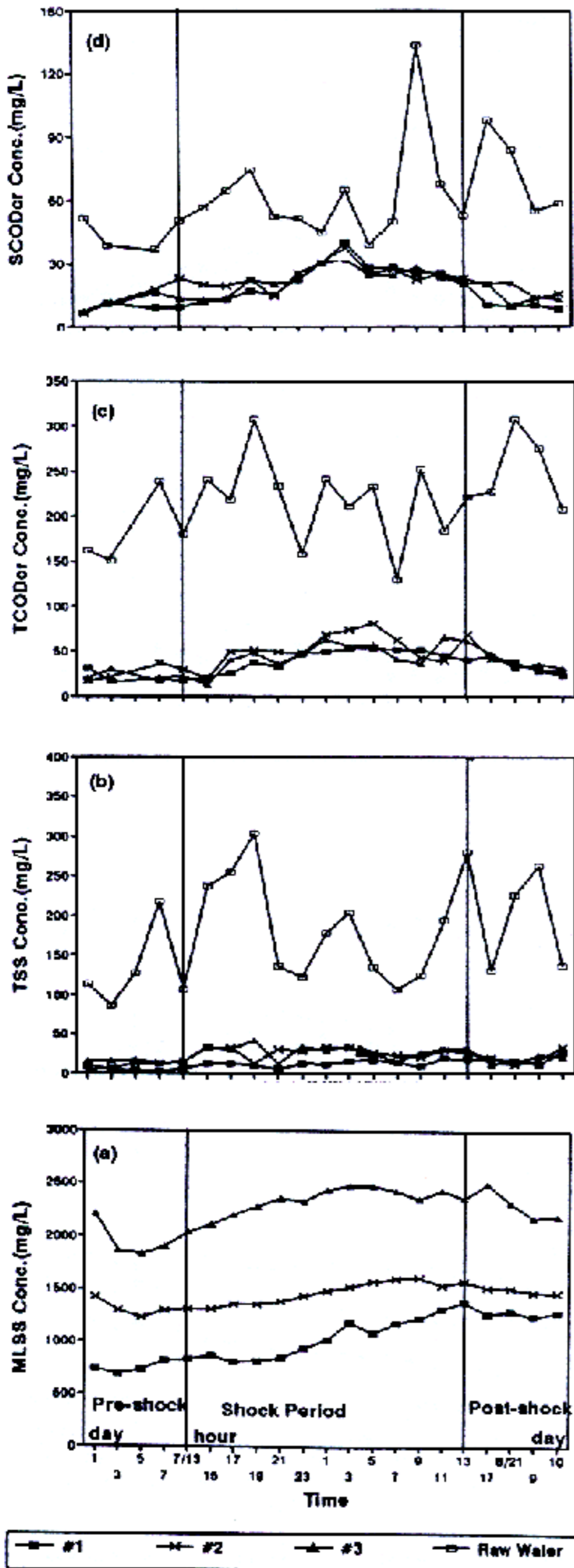


그림 2. 수리학적 충격부하의 활성슬러지 반응 (HRT 13hr > 3.25hr)

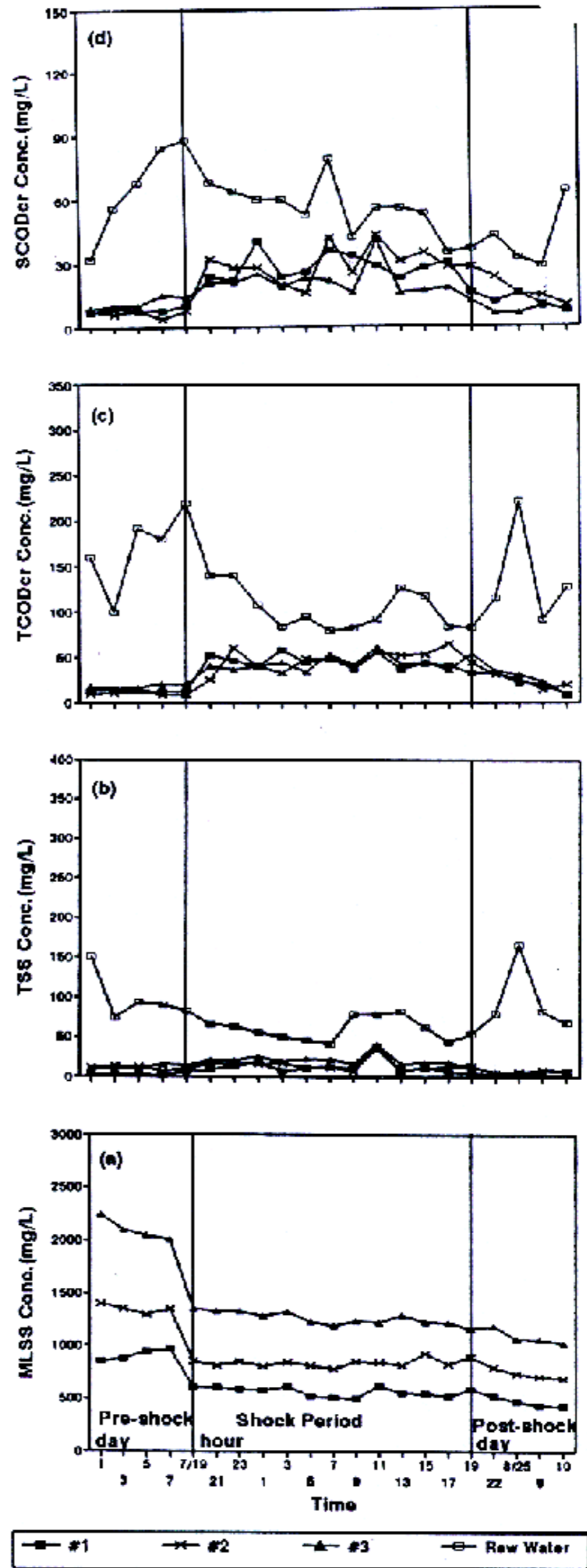


그림 3. 슬러지 인출에 따른 수리학적 충격부하의 활성슬러지 반응 (HRT 13hr > 3.25hr)

내 충격전 수질과 같은 새로운 정상상태에 도달되었다.

이와같이 HRT가 13시간으로 운전된 반응조에서 4배의 수리학적 충격부하에 대한 활성슬러지 반응은 유출수질 회복면에서 보면 그 영향은 미비하여 충격기간보다 더 빠른 시간내 부유물질과 유기물질이 안정적으로 유지됨을 알 수 있었다. 반응조 Set #1과 Set #2에서 충격부하에 대한 영향이 미비한 차이를 보인 것은 슬러지 인출에 따른 미생물 반응과 완충능력이 다르기 때문으로 판단된다. 이때 충격기간중 모든 반응조에서 다량의 거품발생과 슬러지 벌킹(Bulking)현상은 발생되지 않았다. 6)

3.2 HRT가 7시간으로 운전된 반응조에서 수리학적 충격부하 반응

HRT가 7시간으로 운전된 반응조에서 24시간동안 HRT를 7시간에서 1.75시간으로(유입 유량을 17.14L/day에서 68.57L/day) 4배의 수리학적 충격부하를 실시한 실험결과는 그림 4(반응조 Set #3)와 같다. 동일한 운전조건에서 충격부하전 슬러지를 인출한 후 충격부하를 수행한 실험결과는 그림 5(반응조 Set #4)와 같다. 그림 4(a)와 그림 5(a)와 같이 충격부하가 시작된 후 미생물 농도는 약간 증가되는 경향을 보이고 있다.

그림 4(b)와 그림 5(b)에 나타난 것과 같이 충격기간중 모든 반응조에서 충격초기에 유출수의 TSS 농도가 증가되는 경향을 보이다가 충격이 종료되기 전까지 평균 20-34mg/l의 농도 변화를 보였다. HRT가 13시간으로 운전된 반응조의 충격실험에서처럼 역시 MLSS 농도가 높게 유지된 반응조 No. 3에서 TSS 농도가 약간 높게 유출되는 경향을 보였는데 이는 MLSS 농도가 높게 유지된 상태에서 침전조 수면적부하가 증가되어 침전된 슬러지가 유출되었기 때문이다. 이런 현상은 슬러지를 인출하지 않고 충격을 실시한 반응조에서 더 크게 나타났다. HRT를 7시간으로 단축하여 충격부하를 실시한 경우 TSS 농도가 선행된 실험(HRT가 13시간으로 운전된 반응조)과 비교하여 볼

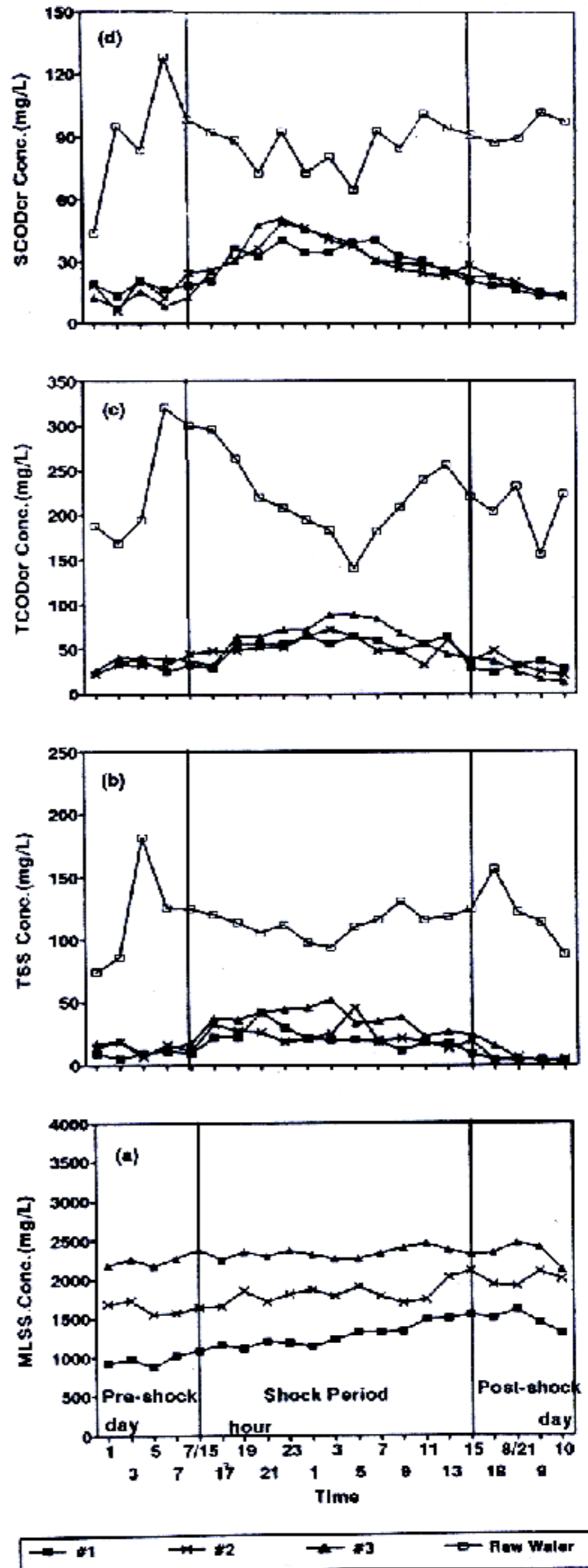


그림 4. 수리학적 충격부하의 활성슬러지 반응 (HRT 7hr → 1.75hr)

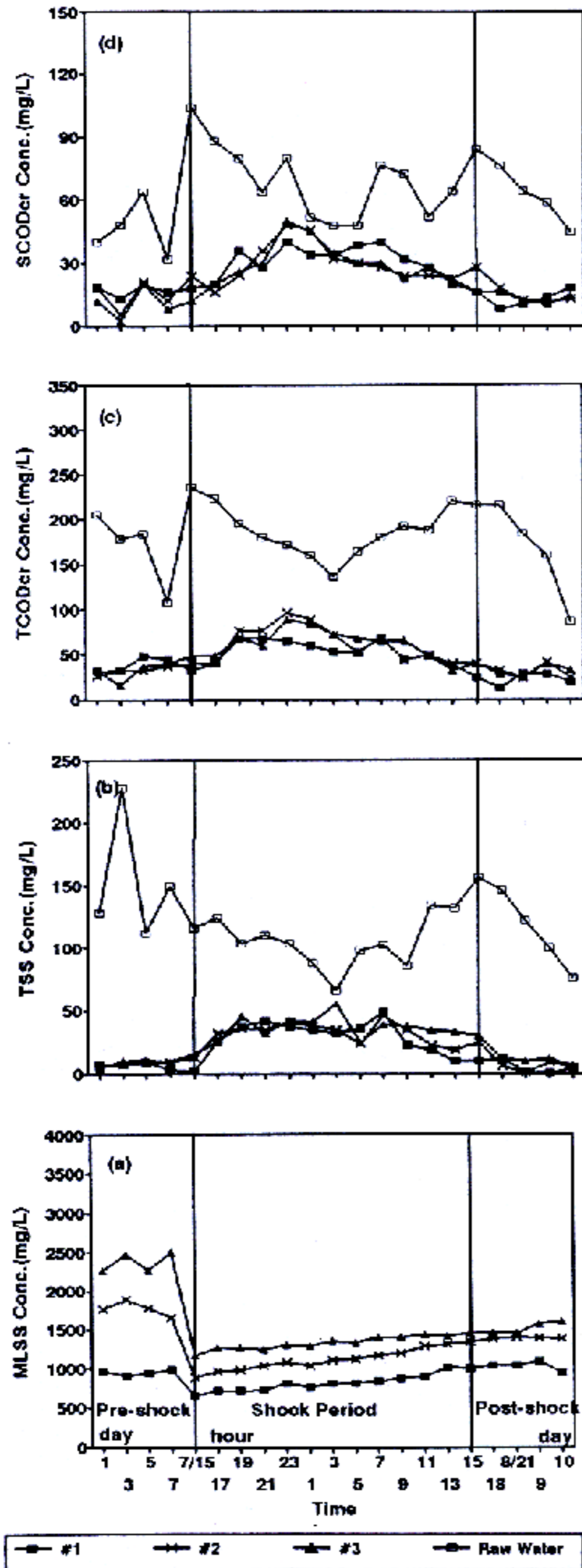


그림 5. 슬러지 인출에 따른 수리학적 충격부하의 활성슬러지 반응(HRT 7hr → 1.75hr)

때 평균적으로 약 10mg/l로 높게 유출되었다. 단축된 HRT에 비하면 유출 수질에 미치는 영향은 미비하였다.

충격부하기간중 유출수의 평균 CODer 농도 변화는 그림 4(c, d)와 그림 5(c, d)에 보는 것 처럼 슬러지를 인출한 다음 충격부하를 실시한 반응조들에서 유출수의 SCODer 농도가 평균 30mg/l 내외로 나타나 슬러지를 인출하지 않고 충격부하를 실시한 반응조들보다 약간 향상된 유출수질을 보였다. 이 역시 MLSS 농도에 따른 차이는 미비하였다. TCODer의 경우도 충격기간동안 평균 50-60mg/l 내외로 유출되어 슬러지 인출에 따른 영향은 미비하였다. MLSS 농도가 높게 유지된 반응조에서 각각 높은 유출 수질을 보여 TSS 농도가 TCODer 농도에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이 역시 단축된 HRT에 비하면 유기물질이 유출 수질에 미치는 영향은 미비하였다. 슬러지가 인출된 반응조에서 새로운 정상상태에 도달되는 기간이 약간 더 빠르게 진행되었다. 충격부하전 정상상태 수질과 비교하면 충격이 종료된 후 유출 수질은 큰 차이가 없었다.

이상의 결과에서 HRT가 7시간으로 운전된 반응조에서 충격에 따른 유출 수질의 영향은 선행된 실험(HRT가 13시간으로 운전된 반응조)과 비교하면 충격기간동안 유출 수질은 증가되는 경향을 보였지만 충격후 유출 수질의 차이는 미비하였다. 모든 반응조에서 3-24시간이 경과된 후 부유물질과 유기물질은 충격부하전 정상상태의 유출 수질로 회복되었다. 또한, 모든 반응조에서 다량의 거품발생과 슬러지 벌킹(Bulking)현상도 발생되지 않았다. 6) 충격부하를 완화시켜 안정된 유출수질을 얻기 위해 충격부하전 슬러지를 인출하여 충격전 갑자기 MLSS 농도를 낮게 유지하여 운전하는 방법은 유출수의 TSS 농도에는 큰 영향을 미치지 않지만 유기물질에 대해서는 효과적으로 충격에 대처할 수 있는 방안으로 판단된다.

3.3. HRT가 3시간으로 운전된 반응조에서
수리학적 충격부하 반응

HRT가 3시간으로 운전된 반응조 Set #5와 Set #6에서 24시간동안 HRT를 3시간에서 0.75시간으로 (유입 유량을 40L/day에서 160L/day) 4배의 수리학적 충격부하를 실시한 실험결과는 그림 6과 같다. 동일한 운전조건에서 충격부하전 슬러지를 인출하여 충격부하를 수행한 실험결과는 그림 7과 같다. 그림 6(a)와 같이 충격부하가 시작된 후 유기물질 부하량이 $8.81\text{kgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 로 갑자기 증가되었기 때문에 MLSS 농도도 급격하게 증가되는 경향을 보이고 있다. 7) 슬러지를 인출한 다음 충격부하를 실시한 반응조에서도 MLSS 농도는 그림 7(a)와 같이 증가되는 경향을 보이고 있다. 두 실험조건에서 충격부하기간중 다량의 거품발생으로 인해 충격이 종료되는 시점에 슬러지가 다량 유출되었다. 충격전 갑자기 슬러지를 인출하여 충격을 수행한 반응조에서는 MLSS 농도가 낮게 유지되므로서 포기조에서 유출된 슬러지가 이차침전조에서 일정기간 머무르는 동안 침강되었기 때문으로 사료된다.

그림 6(b)와 그림 7(b)에 나타난 것과 같이 유출수의 TSS 농도변화는 선행된 실험(HRT 13과 7시간으로 운전된 반응조)과는 달리 모든 반응조에서 평균 32-40mg/l 내외로 나타났는데 이는 갑자기 유기물 부하량이 높아지므로 인해 이에 적응하는 사상균과 같은 미생물종이 번식하게 되어 슬러지 침강성이 저하되었기 때문으로 판단된다. 11) 슬러지를 인출한 다음 충격이 실시된 반응조에서 TSS 농도가 낮게 유출되었는데 이는 슬러지 인출에 따른 유출수 TSS 감소라기 보다 유입수 TSS 농도가 약 2배 정도 낮게 유입되었기 때문으로 사료된다. 이들 반응조 역시 MLSS 농도에 따른 충격강도는 미비하였다.

충격부하기간중 유출수의 평균 CODcr 농도 변화는 그림 6(c, d)와 그림 7(c, d)에서 보는 것처럼 모든 반응조에서 충격부하기간중 SCODcr 농도는 유입수보다 평균적으로 약 3-4배 증가되는 경향을 보여 유출 수질이 상당히

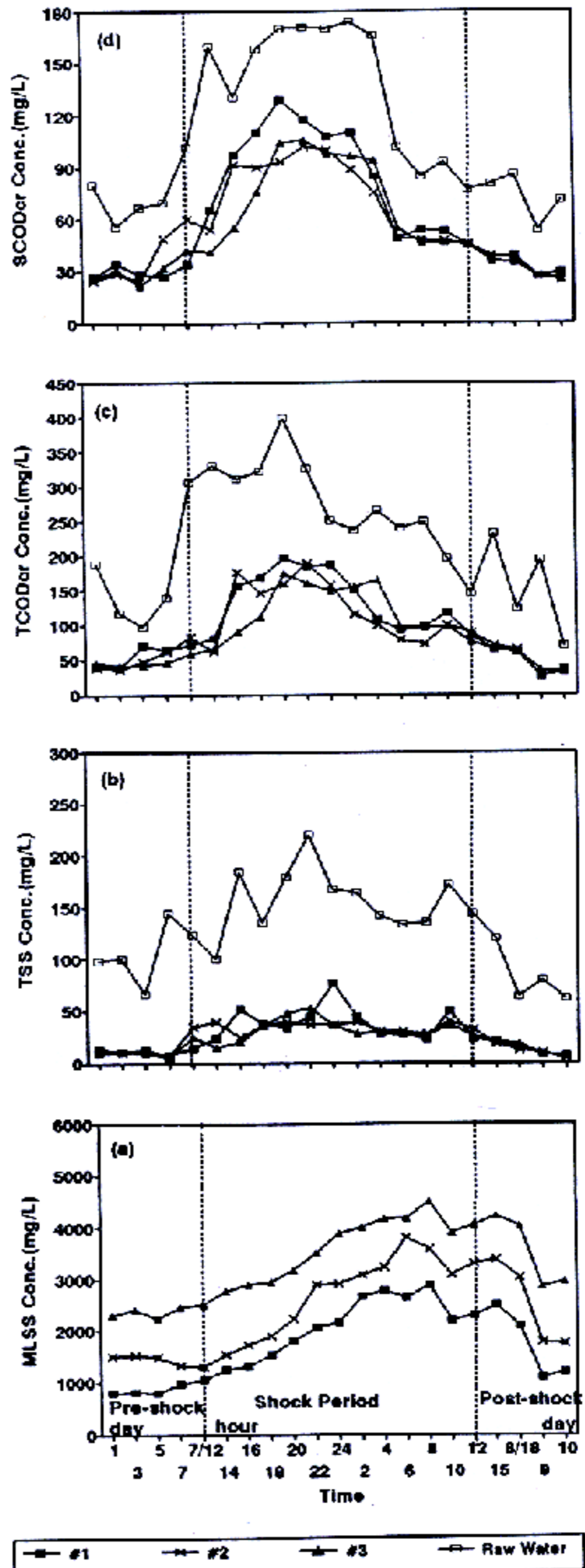


그림 6. 수리학적 충격부하의 활성슬러지반응 (HRT 3hr → 0.75hr)

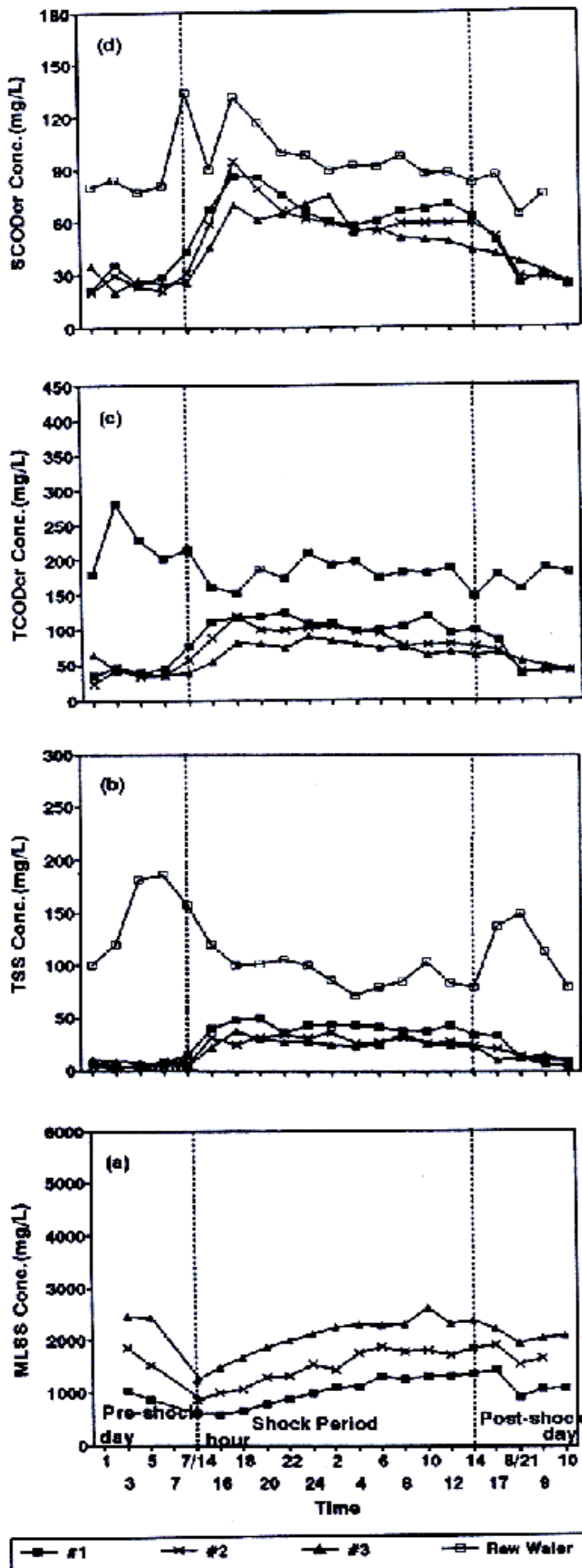


그림 7. 슬러지인출에 따른 수리학적 충격부하의 활성슬러지 반응(HRT 3hr → 0.75hr)

악화되는 것으로 나타났다. 특히, 반응조 Set #5와 Set #6에서 유출수의 최대 SCODcr 농도는 각각 120mg/l, 90mg/l까지 증가하는 경향을 보였고 TCODcr의 경우도 각각 200mg/l, 130mg/l까지 증가되는 경향을 보였다. 충격기간중 유기물질의 심한 누수는 유기물 부하량의 급격한 증가와 HRT 단축으로 인하여 유기물질이 완전히 생분해되지 않고 일부는 미생물에 의해 분해되고 남은 유기물질은 활성슬러지와 플러크를 형성하여 침전되지 않고 유출수에 포함되었기 때문에 사료된다. MLSS 농도에 따른 충격의 강도는 MLSS 농도가 증가될수록 유기물질에 대한 충격강도는 악화되는 것을 알 수 있었다. 또한 선행된 실험결과와는 달리 모든 반응조에서 다량의 거품이 발생되었다.

HRT가 3시간으로 운전된 반응조에서 SRT에 따른 부유물질과 유기물질에 대한 충격의 영향은 미비하였지만 슬러지 인출 유·무에 따른 영향에서는 충격전 슬러지를 인출하므로써 유기물질에 대한 영향을 감소시킬 수 있었다. 따라서 충격부하전 슬러지 인출이 수리학적 충격부하에 대응하는 방안으로 고려될 수 있을 것이다. 활성슬러지의 정상상태에서 HRT를 3시간으로 운전된 반응조의 경우 HRT를 13시간, 7시간으로 운전된 반응조에서 처럼 TSS 및 SCODcr의 유출수질은 평균 28mg/l 이하로 나타나 HRT에 따른 유출수질의 변화는 미비하였다. 저농도 도시하수를 처리하기 위해 HRT를 3시간으로 유지해도 규제기준을 만족시킬 수 있으나¹⁵⁾ 우천시 등과 같은 충격부하시에는 이에 대한 조치가 요구된다.

3.4. HRT, SRT 및 슬러지 인출 유·무에 따른 충격부하의 응존성 유기물질 반응

표 2는 HRT, SRT 및 슬러지인출 유·무에 따른 충격부하전·후기간의 평균 SCODcr 농도 및 제거효율을 종합적으로 나타낸 것이다. HRT가 13시간으로 운전된 반응조 Set #1과 Set #2(슬러지 인출된 반응조들)에서 충격전 정상상태에서 평균 SCODcr의 제거효율이 각각 74%, 86%를 보였지만 충격기간중에는 각각

63%, 57%로 감소되는 경향을 보였다. 반응조 Set #3과 Set #4(슬러지가 인출된 반응조들)의 경우도 역시 충격전인 경우 각각 80%, 70%였지만 충격기간중에는 각각 57%, 55%로 감소되었다. 마지막으로 HRT가 3시간으로 운전된 반응조 Set #5와 Set #6(슬러지 인출된 반응조)에서도 충격전인 경우 각각 57%, 68%에서 충격기간중에는 각각 45%, 39%로 평균 SCODcr의 제거효율이 크게 감소되었다. 일반적으로 모든 반응조에서 충격부하기간중 HRT의 단축으로 인해 SCODcr의 농도는 증가되는 경향을 보이고 제거효율은 감소되는 경향을 보였다. HRT가 13시간에서 7시간으로 단축되었을 경우 제거효율 감소는 단축된 체류시간에 비해 그 영향은 미비하였지만 HRT가 7시간에서 3시간으로 단축되었을 경우는 제거효율이

크게 감소되었다. 또한, 동일한 HRT에서 운전된 모든 반응조에서 SRT가 제거효율에 미치는 영향은 역시 거의 볼 수 없었지만 슬러지 인출 유·무에 따른 충격부하에서는 슬러지가 인출된 반응조에서 충격강도가 완화되는 경향을 볼 수 있었다. 따라서 활성슬러지 공정에서 충격부하의 영향을 감소시키기 위해서 슬러지 인출에 따른 슬러지 반송이 매우 중요한 것으로 나타났다. 물론, 실제 하수처리장의 운전조건에 따른 슬러지 반송방법, 반송량 등이 현장실험을 통해 결정되어야겠다. 이때 충격전 수질로 회복되는데 걸리는 시간은 6-24시간 이내로 나타났다. 수리학적 충격부하 등과 같은 충격은 처리공정시스템이 적합하게 운전된다면 비교적 쉽게 충격을 완화시킬 수 있지만¹³⁾ 독성물질의 유입으로 인한 충격부하는 독성물질의 유입으

표 2. HRT, SRT 및 슬러지 인출 유·무에 따른 충격부하전·후기간의 평균 SCODcr 제거효율

반응조 번호	충격전상태			충격기간상태			충격후상태			HRT (hr)	SRT (day)
	유입 (mg/l)	유출 (제거율) (mg/l) (%)		유입 (mg/l)	유출 (제거율) (mg/l) (%)		유입 (mg/l)	유출 (제거율) (mg/l) (%)			
슬러지가 인출되지 않은 반응조의 충격부하											
반응조 Set #1	No.1	42.3	8.9 (79)	61.6	22.1 (64)		73.5	9.6 (87)		13	10
	No.2	42.3	11.7 (72)	61.6	24.2 (61)		73.5	14.7 (80)		13	20
	No.3	42.3	11.7 (72)	61.6	22.1 (64)		73.5	16.8 (77)		13	30
반응조 Set #3	No.1	92.6	16.8 (82)	85.0	37.9 (55)		89.3	17.8 (80)		7	10
	No.2	92.6	20.5 (78)	85.0	35.2 (59)		89.3	27.5 (69)		7	20
	No.3	92.6	18.9 (80)	85.0	37.3 (56)		89.3	35.0 (61)		7	30
반응조 Set #5	No.1	67.9	28.9 (57)	135.1	81.3 (40)		72.5	33.1 (54)		3	5
	No.2	67.9	31.4 (54)	135.1	72.5 (46)		72.5	31.7 (56)		3	10
	No.3	67.9	27.4 (60)	135.1	69.6 (48)		72.5	30.6 (58)		3	15
슬러지가 인출된 반응조의 충격부하											
반응조 Set #2	No.1	60.0	8.0 (87)	64.0	26.3 (59)		36.8	11.0 (70)		13	10
	No.2	60.0	6.5 (89)	64.0	28.1 (56)		36.8	15.7 (57)		13	20
	No.3	60.0	11.3 (81)	64.0	27.3 (57)		36.8	14.5 (61)		13	30
반응조 Set #4	No.1	46.1	14.2 (63)	70.2	30.7 (57)		60.8	16.0 (74)		7	10
	No.2	46.1	10.7 (69)	70.2	32.0 (54)		60.8	17.2 (72)		7	20
	No.3	46.1	27.4 (77)	70.2	32.6 (54)		60.8	16.3 (73)		7	30
반응조 Set #6	No.1	75.0	27.4 (64)	99.5	66.4 (33)		76.2	31.4 (59)		3	5
	No.2	75.0	25.3 (66)	99.5	60.9 (39)		76.2	32.8 (57)		3	10
	No.3	75.0	26.6 (65)	99.5	54.7 (45)		76.2	33.7 (56)		3	15

로 반응조내 미생물 활성이 크게 저하되어 한꺼번에 반응조 밖으로 유출되므로 충격의 강도가 크게 나타날 것으로 판단된다.¹⁴⁾ 이를 대처하기 위해서도 인출된 슬러지를 이용하여 슬러지반송을 증대시키므로 해서 독성물질에 대한 회색효과가 나타나기 때문에 독성물질 충격에 대해서도 효과적일 것으로 판단된다.

4. 결 론

도시하수를 처리하기 위한 활성슬러지공정에서 24시간동안 4배의 수리학적 충격부하를 실시하여 수리학적 충격전·후의 유출 수질변화를 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. HRT를 13시간과 7시간으로 유지된 모든 반응조에서는 충격부하기간중 유출 수질(부유물질과 유기물질)에 미치는 영향은 미비하므로 안정된 유출수를 얻을 수 있었다. HRT 13시간에서 충격의 경우 MLSS 농도가 낮게 유지된 반응조 No.1에서 TSS 농도가 가장 낮게 나타났다. 또한 포기조내 다량의 거품발생과 슬러지의 벌킹현상도 관찰되지 않았다. 이런 결과들은 충격부하전 슬러지가 인출된 반응조에서도 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

2. HRT를 3시간으로 유지된 반응조에서는 충격부하기간중 유출 수질이 상당히 악화되는 것으로 나타났다. 충격기간중 평균 TSS와 SCODcr 농도가 반응조 Set #5에서는 각각 31-40mg/l, 70-80mg/l로, 반응조 Set #6에서도 각각 25-49mg/l, 55-66mg/l의 유출 수질을 보였다. MLSS 농도가 낮게 유지된 반응조 No.1에서 충격부하의 강도는 다른 반응조에 비해 크다는 것을 알 수 있었다. 또한, 포기조내 다량의 거품발생이 관찰되었다.

3. 충격부하가 종료된 후 새로운 정상상태로 회복되는데 소요되는 시간은 HRT를 각각 13시간, 7시간, 3시간으로 운전된 반응조에서 각각 3-6시간, 3-24시간, 6-24시간으로 나타나 HRT와 SRT 변화에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

4. 슬러지를 인출한 다음 충격부하를 실시한

반응조에서 안정된 유출 수질을 얻을 수 있으므로 슬러지 인출이 충격부하에 대응하는 방안으로 고려될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 환경백서, 환경지, 1994.
2. Couillard, D. and Zhu S., "Control Strategy for The Activated Sludge Process under Shock Loading", Wat. Res., Vol. 26, pp. 649, 1992.
3. George, T. K. and Gaudy, A. F., Jr., "Response of Completely Mixed Systems to Hydraulic Shock Loads", J. Environ. Eng. Div., ASCE, Vol. 99, pp. 593-606, 1973.
4. Komolorit, K. and Gaudy, A. F., Jr., "Biochemical Response of Continuous-Flow Activated Sludge Processes to Qualitative Shock Loadings", JWPCF., Vol. 38, No.1, pp. 85-101, 1966.
5. Krishnan, P. and Gaudy, A. F., Jr., "Response of Activated Sludge to Qualitative Shock Loading", JWPCF., Vol. 48, pp. 906-919, 1976.
6. Manickam, T. S. and Gaudy, A. F., Jr., "Comparison of Activated Sludge Response to Quantitative Hydraulic, and Combined Shock for the Same Increase in Mass Loading", JWPCF., Vol. 57 No.3, pp. 241-251, 1985.
7. Saleh, M. M. and Gaudy, A. F., Jr., "Shock Load Response fo Activated Sludge with Constant Recycle Sludge Concentration", JWPCF., Vol. 50, pp. 764-774, 1978.
8. Storer, F. F. and Gaudy, A. F., Jr., "Computational Analysis of Transient Response to Quantitative Shock Loadings of Heterogeneous Populations in Continuous Culture", Env. Sci. and Tech., Vol. 3, pp. 143, 1969.
9. APHA, AWWA, WEP, "Stand Methods for the Examination fo Water and Wastewater", 18th edition. American. Public Health Association, Washing, D.C. 1992.
10. 환경오염공정시험법, 환경부, 1993.
11. Cashion, B. S., Keinath, T. M. and Schuk, W. W., "Control Strategy for The Activated Sludge Process", JWPCF., Vol. 51, pp. 815, 1979.
12. Tuntoolavest, M., Miller, E., and Grady C. P. L., Jr., "Factor Affecting The Clarification Performance of Activated Sludge Final Settlers",

- JWPCF., Vol. 55, pp. 234, 1983.
13. Stover, E. L., "Shock Load Capabilities of Anaerobic Systems Treating High Strength Wastewater", Proceeding of The Ind. Waste Conf., Purdue Univ., pp. 711-718, 1990.
 14. Rozich, A. F., and Gaudy, A. F. Jr., "Response of Phenol Acclimated Activated Sludge Process to Quantitative Shock Loading", JWPCF., Vol. 57, pp. 795-803, 1985.
 15. 황규대, 김민호, 고세범, "저농도 도시하수 처리를 위한 활성슬러지공장에서 HRT 및 SRT가 처리효율에 미치는 영향", 대한상하수도학회지, 제 11권, 제1호, pp. 64-73, 1997.