

하수처리장 슬러지 농축효율 개선 연구

김병수 _ 부산광역시 환경시설공단 수영사업소

서론

수영하수처리장의 경우 하수처리과정에서 발생된 생슬러지와 잉여슬러지를 혐기성소화조로 투입하여 처리토록 설계되어 있었다. 그러나 음식물병합처리장 신설 및 차집관거 확충과 분뇨 등 직유입 증가로 소화조 투입물량이 급격히 증가하여 소화일수의 단축은 물론 탈수슬러지량 증가로 약품비용 및 슬러지 처리비용이 증가하고, 농축조 월류수질 악화로 유입수질이 상승하는 등 악영향을 초래하고 있어 중력농축조의 원활한 관리를 통하여 농축 TSS상승 및 소화투입물량을 감소함은 물론 월류수질을 개선하기 위해 현장운영 연구를 시작하였다. 이에 그 결과를 소개하고자 한다.

본론

1. 문제점 및 대책방안

유입수질의 지속적 상승과 음식물반입량 증가로 소화투입량이 급격히 증가하여 소화일수 감소, 약품 사용량 증가, 슬러지발생량 및 처리비용이 지속적으로 증가하였다. 소화투입 슬러지별 구성비율을 보면 중력농축 슬러지의 비중이 높아 소화일수의 적정 확보를 위해서는 중력농축슬러지 TS의 상승 방안이 절실한 실정으로 소화조(7,000m³×4조) 투입 슬러지 구성원별 비율 및 TS는 다음과 같다.

(단위 : m³/일, %)

구분	농축(생)슬러지			잉여농축슬러지			음식물		소화투입량 (농축+잉여+음식물)
	유량	TS	비율	유량	TS	비율	유량(반입량)	비율	
2000년	576	3.34	49.5	499	5.09	42.9	89(33톤)	7.6	1,208(1,164)
2001년	780	2.82	57.9	384	5.12	28.5	182(63톤)	13.6	1,474(1,346)
2002년	875	2.82	59.8	350	5.38	23.9	237(86톤)	16.3	1,589(1,462)

2. 추진일정

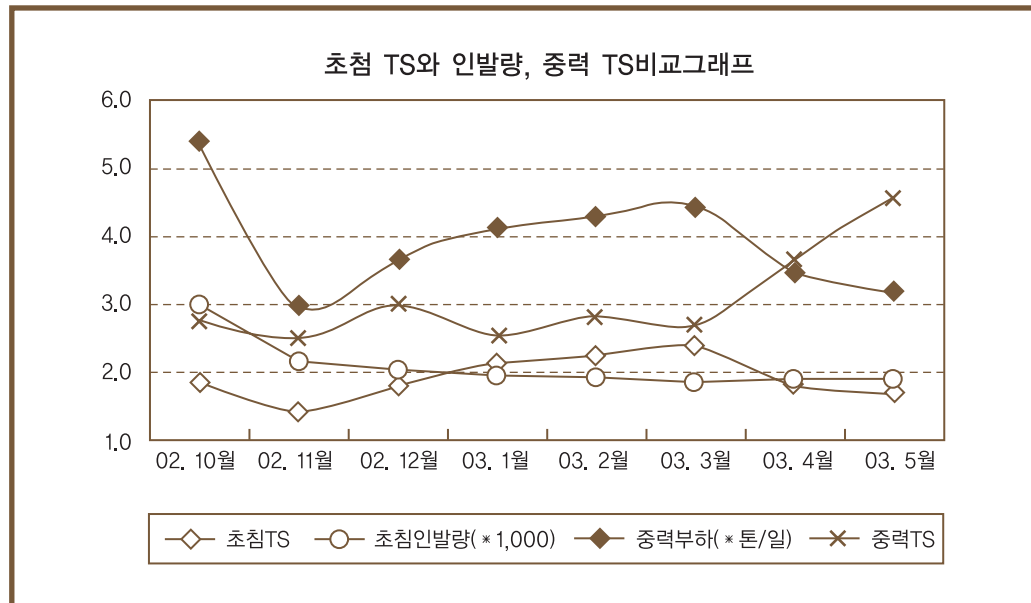
- 가. 초침슬러지 인발량 및 인발 방법 개선 : 2002. 10월 ~ 11월
- 나. 농축조슬러지 계면변화에 따른 월류수질 분석 : 2002. 11월 ~
- 다. 중력농축조 운전기수 변경(2조 → 3조) : 2003. 2. 3이후
- 라. 잉여저류조 및 소화월류수량 변화에 따른 농축 TS 변화 분석 : 2003. 2월~
- 마. 농축슬러지 계면변화에 따른 TS 실험 : 2002. 11월~2003. 5월

3. 농축 TS 영향 인자별 분석결과

(1) 초침 TS 및 인발량이 중력농축 TS에 미치는 영향

초침 TS와 인발량이 중력 TS에 어떠한 영향을 미치는지를 정확히 판단하기는 어려우나, 현장 운전 결과 및 타 사업소의 운영사례 분석 결과 초침 TS와 농축 TS의 상관관계는 크지 않은 것으로 나타났다.

구분	초침 TS	초침 인발량	중력부하 (톤/일)	중력 TS
02.10월	1.81	2,957	53.4	2.73
02.11월	1.40	2,109	29.5	2.49
02.12월	1.80	2,020	36.3	2.98
03. 1월	2.10	1,943	40.9	2.51
03. 2월	2.20	1,918	42.3	2.80
03. 3월	2.38	1,846	43.8	2.67
03. 4월	1.81	1,899	34.4	3.64
03. 5월	1.66	1,898	31.5	4.29



사업소별 운전현황(2003. 1월~4월 평균)은 보편적으로 초침 TS가 높고 초침인발량을 감소시키면 초침 슬러지의 부상우려가 있고, 초침 TS가 낮게 인발량을 늘리면 중력농축조로의 이송량이 많아 펌프 가동

시간 증가의 원인이 되므로 초침에서 슬러지가 부상하지 않는 범위를 선택하여 운전함이 타당할 것으로 판단된다.

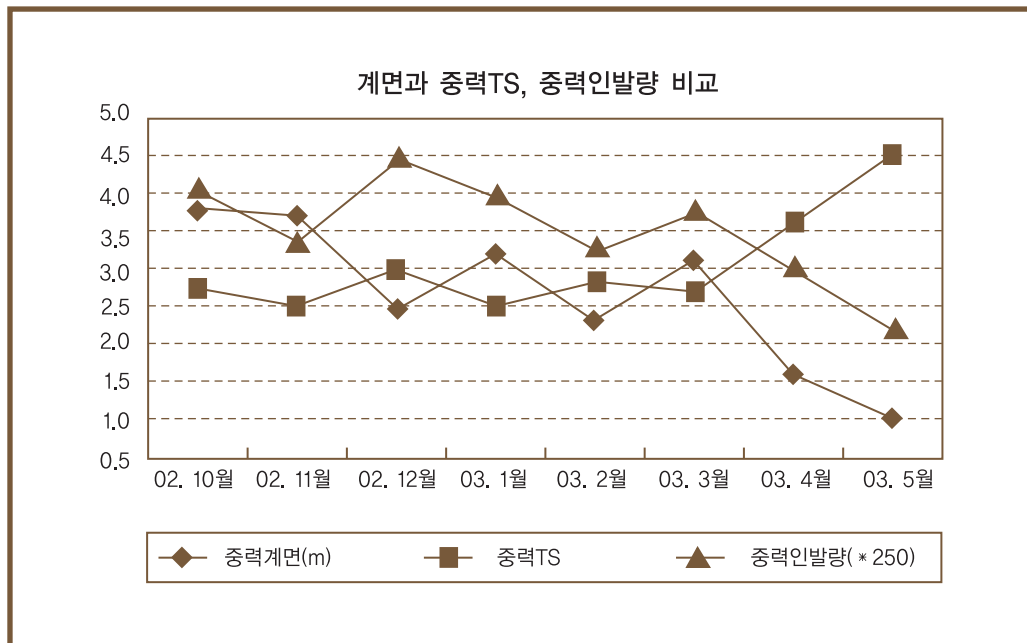
구분	초침인발량	초침 TS	중력 TS
장림사업소	1,439	3.01	3.17
남부사업소	2,065	1.31	3.20

초침인발량은 초침제거량 및 TS를 고려하여 결정하고 인발 횟수는 : 동절기 2~3회, 하절기 2~4회

(2) 중력농축조 슬러지계면이 중력 TS 및 인발량에 미치는 영향

중력농축조의 슬러지 계면변화에 따른 중력 TS 실험결과 슬러지계면이 0.5~1.0m 범위에서 TS가 높은 것으로 나타났으며 인발량 또한 감소한 것으로 나타났으나, 슬러지계면이 너무 낮으면 농축슬러지 인발시 저농도의 슬러지가 소화조로 투입될 우려가 있다. 따라서 계면측정기를 활용하여 계면을 수시로 측정하여 유지 관리하여야 하며 농축 TS를 높이기 위해서는 농축슬러지의 1회당 인발량을 감소하고 인발횟수를 증가시키는 것이 타당할 것으로 판단된다.

구분	중력계면 (m)	중력TS (%)	중력인발량 (m³/일)
02.10월	3.8	2.73	1,014
02.11월	3.7	2.49	838
02.12월	2.4	2.98	1,120
03. 1월	3.2	2.51	988
03. 2월	2.3	2.80	813
03. 3월	3.0	2.67	938
03. 4월	1.6	3.64	753
03. 5월	1.0	4.29	570



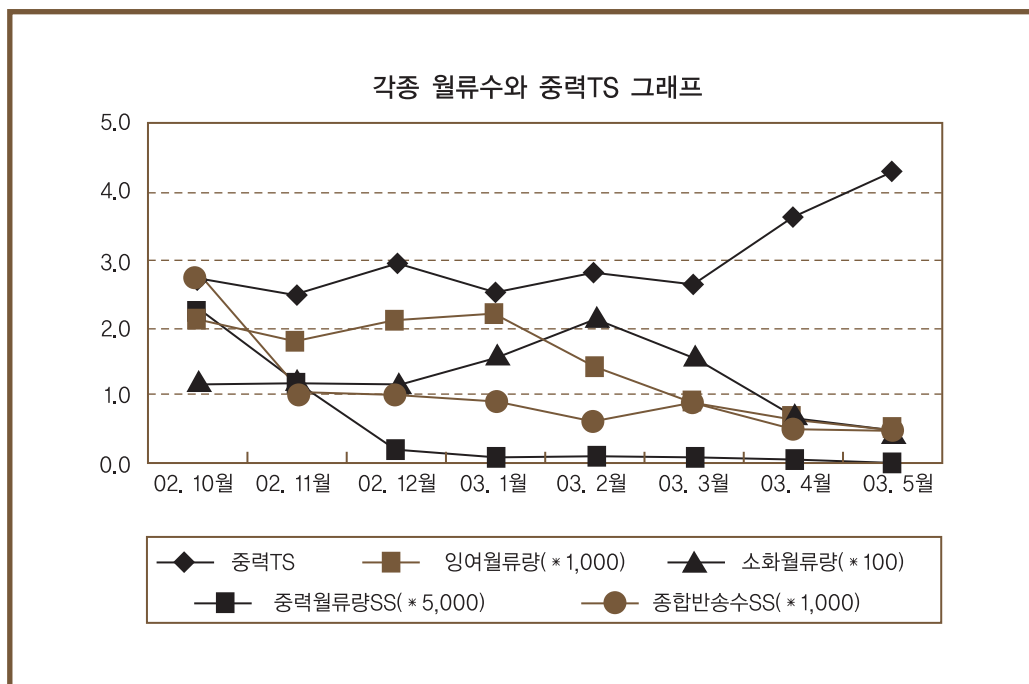
(3) 월류수(잉여저류, 중력, 소화월류수)가 중력TS에 미치는 영향

각종 월류수에 따른 중력TS 변화 실험을 위해 잉여저류조 월류수량을 지속적으로 감소 운전하여 TS의 변화 및 2003. 4. 11부터 소화조 월류배관 막힘현상으로 소화월류수를 전혀 넘기지 않은 상태에서의 TS 변화 실험 결과 월류수량을 감소시킴에 따라 중력농축 TS가 급격히 상승하였고 중력월류수 및 종합반송수의 수질이 크게 개선된 것으로 나타났다.

잉여저류조 월류량의 감소에 의한 TS 상승보다 소화월류량의 감소에 의한 TS 상승 효과가 큰 것으로 나타나 소화조 월류수량의 관리가 더욱 중요한 것으로 나타났다.

종합반송수질 개선은 중력농축조의 슬러지계면의 최적화로 월류수질을 크게 개선시키고, 소화월류수량 및 잉여저류조월류수량의 감소에 기인한 반면, 농축TS 상승은 잉여슬러지의 경우 쉽게 침전하나 농축시 일정 TS 농도이상을 유지하는데 한계가 있고, 소화슬러지의 경우 혐기·부패화 상태가 진행되어 쉽게 침전하지 않는 특성이 있는데 이를 차단함으로써 농축TS(효율)이 상승하였다.

구분	잉여저류월류량 (m³/일)	소화조월류량 (m³/일)	중력월류수 SS (mg/l)	중·반수 SS (mg/l)	중력 TS (%)
02.10월	2,118	115	11,300	2,717	2.73
02.11월	1,829	119	5,738	1,008	2.49
02.12월	2,109	114	830	1,050	2.98
03. 1월	2,212	154	375	915	2.51
03. 2월	1,409	216	470	622	2.80
03. 3월	906	161	415	857	2.67
03. 4월	646	70	260	458	3.64
03. 5월	485	46	278	429	4.29



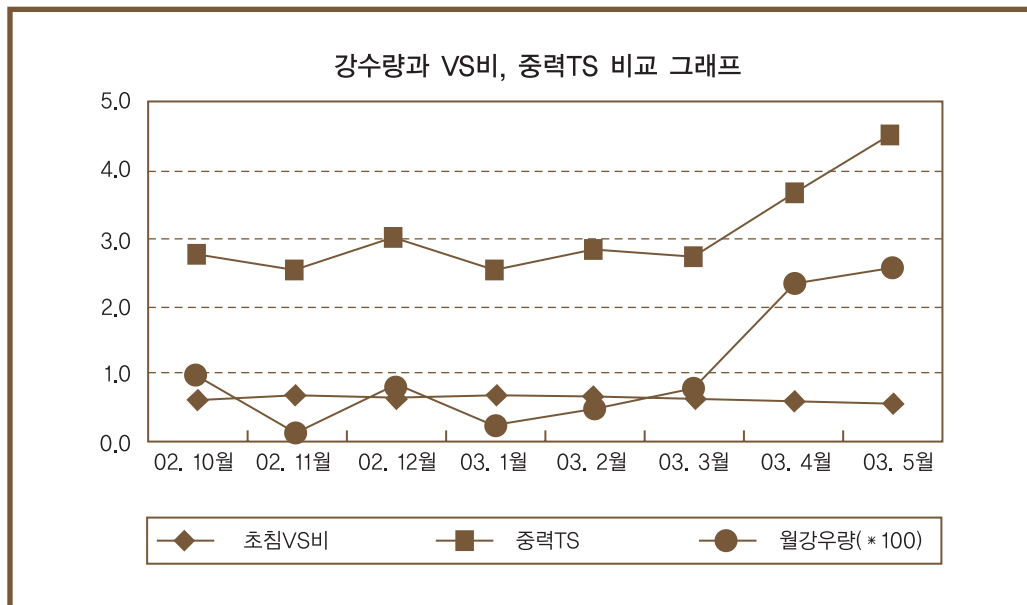
* 2003. 5월의 경우 소화월류수량이 "0m³/일" 이 아니고 "46m³/일"로 것은 펌프의 오차물에 기인한 것으로 판단됨.

(4) 강수량과 초침 VS/TS(%)가 중력TS에 미치는 영향

동절기의 경우 강수량 감소, 초침 VS/TS비 증가, TS는 감소되었고 강수량이 증가하면서 초침 VS/TS비 감소, TS는 증가한 것으로 나타났다. 강수량 증가 시 TS가 상승하는 원인은 강수 증가 기간이 수온이 상승하는 계절적 특성에 기인하며 수온 상승으로 유기물의 분해속도가 증가하고, 강수량 증가 시 토사 및 무기성 물질의 다량 유입에 의하여 침전성 개선된 것으로 판단된다.

유입수질의 성상이 비슷한 남부사업소와의 VS/TS비 비교결과 초침 VS/TS비가 훨씬 높은 것으로 나타났는데 이는 잉여저류조 월류수의 영향으로 판단된다(2003. 1~4월 VS/TS : 수영 66.9%, 남부 61.0%, 장림 59.1%).

구분	초침VS비	중력TS	월강수량
02.10월	0.63	2.73	96.8
02.11월	0.69	2.49	11.2
02.12월	0.68	2.98	79.8
03. 1월	0.71	2.51	23.3
03. 2월	0.67	2.80	51.6
03. 3월	0.67	2.67	77.5
03. 4월	0.60	3.64	232.0
03. 5월	0.56	4.29	247.0

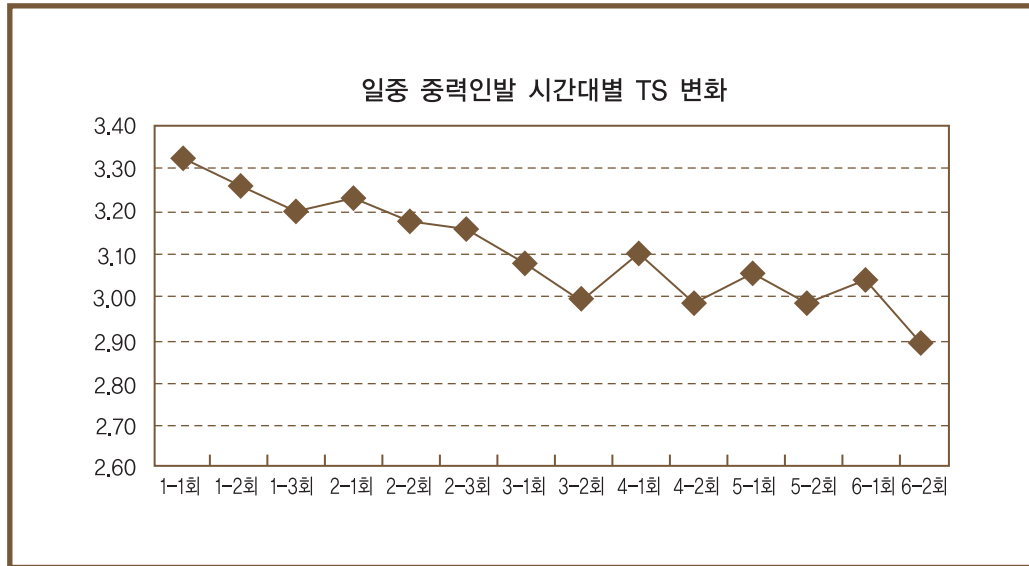


(5) 일중 인발 횟수별 중력TS 변화

일중 인발 시간대별 농축TS 변화를 실험한 결과 인발 횟수가 늘어남에 따라 농축TS는 감소한 것으로 나타났으며, 농축TS 감소 원인은 인발 간격이 너무 짧거나 1회 인발량이 너무 과다하여 하부층 압밀 농축슬러지만을 인발하지 못하고 상부 저농도의 슬러지를 인발하거나, 농축조로 유입되는 생슬러지의 물량 및 고형물부하 불균일화에 기인한 것으로 보인다. 이를 개선하기 위해서는 1회당 인발량을 최소화하면서 인발횟수를 증가하거나 농축조의 슬러지 유입부하를 균등화하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

(실험일시 : 2003. 3. 11)

횟수	1회 실험			2회 실험			3회 실험		4회 실험		5회 실험		6회 실험	
시간	09:30~09:50			10:15~10:45			11:15~11:45		13:15~13:45		14:10~14:40		15:45~16:00	
회차	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2	6-1	6-2
중력TS	3.32	3.26	3.20	3.23	3.18	3.16	3.08	2.99	3.11	2.98	3.05	2.98	3.04	2.89
비고	초	중	말	초	중	말	초	말	초	말	초	말	초	말



(6) 중력농축조 사용지수 변경에 따른 영향

중력농축조는 당초 2기(1,340m³)에서 3기(2,010m³)로 변경 운전하였고 변경에 따른 효과는 체류시간 증가에 따른 슬러지 농축 효율(압밀) 상승, 집중 호우 및 다량의 슬러지 유입시 농축조 계면관리의 용이성 확보, 농축조별 인발량 감소를 통한 TS 상승효과가 있을 것으로 판단된다. 따라서 하절기 수온 상승에 따른 영향으로 슬러지 부상 우려가 있으나 슬러지계면을 낮게 운전할 경우 중력농축조의 슬러지 실제 체류 시간은 큰 변화가 없어 운영상 큰 문제는 발생하지 않을 것으로 판단되나 슬러지 부상현상 발생시에는 초침의 슬러지의 체류시간을 단축시키기 위해 인발량과 인발 횟수를 증대시켜 운전하여 1~2일간 슬러지부상 상태를 관찰 후 슬러지가 지속적으로 부상할 경우 농축조 기수를 3기→2기로 변경하여 운전한다.

결론

1. 분석결과 요약 및 슬러지증 파괴 시 운전방법

(1) 중력TS 상승 및 공정순환슬러지 차단, 종합반송수질 개선 방안

중력농축조 슬러지계면층 적정 유지(1.0m 이하), 인발시간 및 인발량의 균등화(1회 인발량 최소화 및 인발횟수 증가), 잉여저류조 월류량 최소화(심농축기 탈수량 최대화하여 잉여저류조 월류량이 발생하지 않도록 하고 불가피하게 월류 시에는 SS 500mg/l 이하일 경우로 한정), 탈수슬러지량을 증가시켜 소화월류

량 최소화(불가피하게 월류시에는 SS 10,000mg/l 이하 또는 인발 TS의 1/3이하일 경우)하도록 한다.
 월류량 증가 시에는 공정순환슬러지량 증가로 초침발생량 증가, 중력 TS 감소, 소화투입량증가, 소화율 및 소화일수 감소 등으로 슬러지 처리비용이 급증한다.

(2) 슬러지 계면층 파괴 시 운전방법

일시적인 슬러지 계면 파괴 시, 초침에 적체된 생슬러지량을 이론적인 방법으로 산정하고, 이론적 생슬러지량이 초침 및 슬러지피트에서 1일 정도 체류 가능하다고 판단되면 초침에서 중력농축조로의 슬러지유입을 차단하고, 소화조로 투입되는 중력농축슬러지량을 늘려서 운전한다.

중력농축조 수위가 1.5m 이하로 유지되면 농축조에 유입수를 투입하여 인공적 계면을 형성한 후 초침생슬러지를 서서히 투입하고 이 경우 중력농축조에서 소화조로 투입되는 건조중량보다 많은 생슬러지가 유입되면 다시 계면이 파괴되므로 주의하여야 한다.

장기적인 슬러지 계면 파괴로 공정순환 슬러지량이 많을 때는 초침에서 보유 가능한 슬러지가 한계를 넘은 경우 일시적인 현상으로 중력농축조의 계면을 유지하기 힘든 실정이므로 소화조 투입량을 늘리고 탈수 슬러지량을 증대시켜 운전하면 일정 기간 경과 후 공정순환슬러지가 감소하고 초침인발슬러지 농도가 낮아지면 중력농축조의 슬러지 계면은 자연적으로 형성되나, 많은 시간이 소요된다.(슬러지 적체량에 따라 다소 차이는 있으나 현장운영결과 대략 1주~3주 이상이 소요)

초침인발슬러지의 농도가 낮아졌을 경우 상기 기술한 방법대로 인위적으로 슬러지 계면을 형성하여 운전하면 중력농축조의 TS를 상승시키는데 소요되는 시간이 다소 단축될 것으로 판단된다.

슬러지계면층 파괴 시 악영향은 슬러지 계면이 파괴되면 농축조 월류수질 및 종합반송수의 수질이 악화되어 유입수질이 상승하고 농축조를 정상 운영하는데 많은 노력과 시간이 소요되며, 또한 농축슬러지 TS 감소로 소화조 투입량이 급격히 늘어나고 소화일수가 감소되어 소화조의 비정상화 운전으로 탈수슬러지량과 약품사용량이 증가하는 등 슬러지 처리에 소요되는 비용이 증가한다.

따라서 근무자는 계면층정기를 활용하여 계면을 수시로 측정 관찰하여 슬러지 인발횟수와 소화조 투입량 등을 결정하여 농축조를 운전 관리하여야 한다.

2. 기대효과

(1) 응집제 주입률 개선 및 약품사용량 절감

(2) 가스발생량 증가 및 가스 구성비 개선, 탈황탑 교체시기 연장효과

CO₂ 감소, CH₄ 증가, H₂S 감소

(3) 농축 TS 상승으로 소화슬러지 투입량 감소 및 소화일수 증가 > 5.8일

구분	4월			5월		
	2002년	2003년	증감율(%)	2002년	2003년	증감율(%)
중력농축TS	2.84	3.62	▲27.5	2.82	4.29	▼52.1
중력인발량	877	830	▼ 5.4	795	565	▼28.9
소화투입량	1,603	1,620	-	1,627	1,217	▼25.2
소화일수	17.5	17.3	-	17.2	23.0	▲33.7

(4) 소화일수 증가로 소화율 상승(VS/TS비 감소) 및 슬러지처리비용 감소

중력TS 4.0 및 투입량 1,300m³/일 유지시 처리비용절감 추정액
 ≙ (02년평균처리량 - 03.5월처리량금액) ≙ (141.1-126.6) × 365 × 20,935원
 ≙ 110,798천원/년

(5) 중력농축조 회수율 증가로 월류수 및 종합반송수 개선

구분		2002년 4월	2002년 5월	2003년 4월	2003. 5월
중력월류수 (mg/l)	COD	4,532	4,253	156	166
	SS	16,187	22,250	260	278
종합반송수 (mg/l)	COD	690	1,355	153	150
	SS	1,939	4,293	458	429