

論 文

화학적 처리에 의한 1차 하수처리장의 처리효과 개선
—현장시험을 중심으로—

Chemically Enhanced Primary Treatment at D Wastewater Treatment Plant

곽종운* · 김승현** · 이찬원***

Jong W. Kwak · Seung H. Kim · Chan W. Lee

Abstract

This study examined the feasibility of upgrading D waste water treatment plant which treats incoming wastewater by primary sedimentation only. By adding 20-40 ppm of Hi-PAX into the outlet of the aerated grit chamber, BOD and SS removal efficiencies were improved from 29% and 36% to 53 % and 73%, respectively. However, chemically enhanced primary treatment failed to meet the upcoming wastewater quality standard(BOD and SS <20 mg/l) consistently. This was suspected to result from the deteriorated plant return stream. The wastewater treatment by chemical treatment should have increased the amount of the sludge to be removed as the sludge production was increased. Chemically enhanced primary treatment is anticipated to consistently produce effluent of the 1996 standards quality by adjusting the amount of the sludge to be removed. Besides BOD and SS removal, chemically enhanced primary treatment resulted in the improved T-P removal from 30% to 64-74%. However, such benefit was not observed in T-N removal. Improved T-P removal will be expected to help control water pollution in Masan bay.

I. 서 론

응집의 역사는 BC 800년경, 엘리가사 더러

운 물을 정화하기 위해서 염(Salt)를 사용한 것이 효시로 알려져 있다. 이 염은 오늘날 사용하는 응집제와 같은 것이며, 그 당시 염을 사용하였다는 사실은 경이스러운 일이다.

1993년 11월에 준공된 D 하수 종말 처리장은 하루 평균 약 15만 톤의 마산시와 창원시 하수를 처리하고 있다. 이 처리장은 2단계에 걸쳐서 사업이 진행되고 있는데, 1단계 사업은

* 경기화학공업(주) 수처리연구소

** 경남대학교 토목공학과

***경남대학교 환경보호학과

1984년에 시작되어서 1993년 완료되었고, 2단계 사업은 1996년 시작되어서 1999년 완료될 예정이다.

1단계 사업에서는 1차 물리적 처리법인 침전지를 설치하고 2단계 사업에서는 2차 생물학적 처리 법인 표준활성오니 공정을 도입하기로 되어 있다. 현재는 1단계 사업이 완료된 상태로 최초 침전지만이 설치되어 있으므로, 유입된 하수는 침전과정을 거친 후에 진해만에 방류되고 있다. 처리장의 현재 처리시설 용량은 28만 톤/일이고 2단계 사업에 의해서 50만 톤/일로 증축될 예정이다.

D 하수 종말처리장의 유출수가 방류되는 진해만은 우리나라에서는 가장 해양오염이 심각한 곳으로 알려져 있다. 마산만을 포함하고 있는 진해만의 오염은 마산만으로 부터 시작된다. 마산만은 일반 생활오수 이외에도 인근의 많은 공장들로부터 유출되는 공장폐수에 의해서 오염이 되고 있을 뿐더러 마산만 자체가 배쇄성 해역으로 안으로 유입된 오염물질들이 만 밖으로 잘 빠져나가지 못하므로 오염이 가중되고 있다. Table 1에 제시된 것같이 마산만을 오염시키는 지역은 크게 창원시, 마산시 그리고 D 하수종말처리장으로 나누어 볼 수 있는데 이 중에서 오염조질이 가장 쉬운 곳이 D 하수종말처리장이다. Table 1에 의하면 D 하수종말처리장이 마산만에 미치는 영향은 유기물질 기준으로 27% 그리고 고형물기준으로 32%에

해당하고 있고, 영양염류인 인과 질소기준으로는 각각 26%와 29%에 해당한다. 이는 D 하수 종말처리장이 마산만의 수질에 미치는 영향이 약 30% 정도에 해당한 다는 것을 나타낸다. 비록 2단계 사업이 완료되는 1999년에는 마산만에 미치는 유기물질과 고형물의 부하가 상당히 줄어들 것으로 예상되나 그 때 까지는 D 하수 종말처리장에 의한 마산만의 지속적인 오염이 계속될 것이다. 그러므로 본 연구에서는 현재 1차 처리만을 실시하고 있는 D 하수종말처리장에 화학적 처리 기술을 도입해서 처리효율을 향상시킬 수 있는 지를 조사하였다. 구체적으로는 본 연구의 목적은 다음과 같다.

- 기존의 1차 하수처리장에 화학적 하수 처리 기술의 적용 가능성 검토
- 화학적 처리에 의한 BOD/SS/인(P) 제거효율 분석
- 현장 테스트를 통해 발생할 수 있는 제반 보완사항

2. 실험

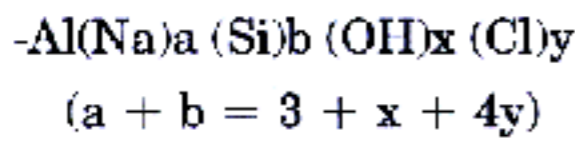
Jar 시험에서는 현장에 적합한 응집제의 종류와 투입농도를 결정하였고, Jar-시험에서 결정된 조건에 의해서 현장실험투입을 1994년 11월 16일부터 1995년 3월 25일까지 실시하였다. Jar 시험은 Kemira Kemi AB에서 개발된 EZ-JAR 시험기를 사용하였으며, 급속교반

표 1. 마산만의 오염부하량¹⁾

	Flow rate m ³ /day	COD kg/day	TSS kg/day	T-P kg/day	T-N kg/day
Changwon City	349,772 (54%)	16,661 (41%)	14,206 (45%)	391 (39%)	6,424 (43%)
Masan City	173,884 (27%)	13,217 (32%)	7,518 (23%)	348 (35%)	4,280 (28%)
D Wastewater Treatment Plant	124,649 (19%)	10,819 (27%)	10,221 (32%)	260 (26%)	4,311 (29%)
Total	648,305	40,697	31,945	999	15,015

200 400rpm에서 10초, 완속교반은 40rpm에서 10-30분, 침전은 20분간 실시하였다. Jar 시험후에는 상등액을 채취해서 탁도, SS, COD, 및 pH를 필요에 따라 측정하였다. 한편 본 실험에 사용한 응집제의 특성을 아래에 요약하였다. Table 2에서 보는 것처럼 Hi-PAX는 OH/Al비에 따라 염기도가 변하며, SS의 제거는 염기도가 클수록 유리한 것으로 알려져 있다.²⁾

Hi-PAX



-염기도: 50%(Al₂O₃:17(%))

D 하수 처리장의 계통도는 Fig. 1, 처리장의 위치는 Fig. 2에 나타나 있다. 1단계 사업을 마친 현재 D 하수 종말처리장의 주요 수처리시설은 폭기 침사지와 최초 침전지인데, 이공정들은 예비 처리장과 본 처리장 2 군데에 나누어져 있다. 폭기 침사지는 예비 처리장에 그리고 최초 침전지는 본 처리장에 설치되어 있다. 예비 처리장과 본 처리장은 길이 4.2km의 터널에 의해서 연결되어 있는데 현장 실태입에서는 Hi-PAX 20~40ppm이 터널입구에 주입되었다. 4개의 펌프장으로 부터 유입된 하수가

표 2. 알루미늄착이온의 염기도와 슬츠 하디법칙³⁾

Ion	Schultz-Hardy conc.	OH/Al	Basicity.(%)	Al charge
Al ³⁺	1	0	0	+3
Al ₂ (OH) ₂ ⁴⁺	1/2.8	1	33	+2
Al ₃ (OH) ₄ ⁵⁺	1/7.1	1.3	44	+1.67
Al ₃ O ₄ (OH) ₂₄ ⁷⁺	1/12.4	2.5	82	+0.54
Al(OH) ₃	-	3.0	100	0

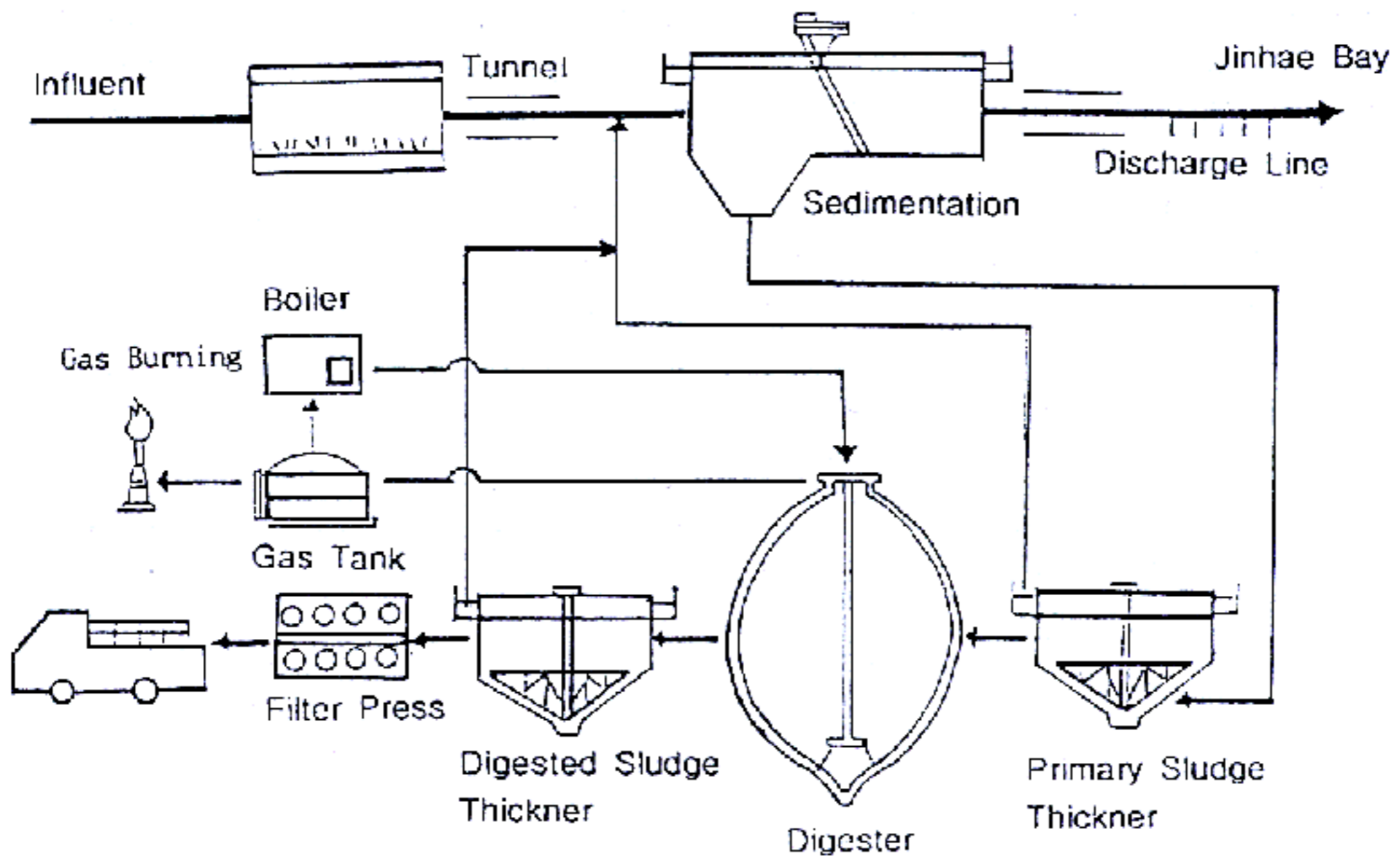


그림 1. D 하수처리장의 처리흐름도

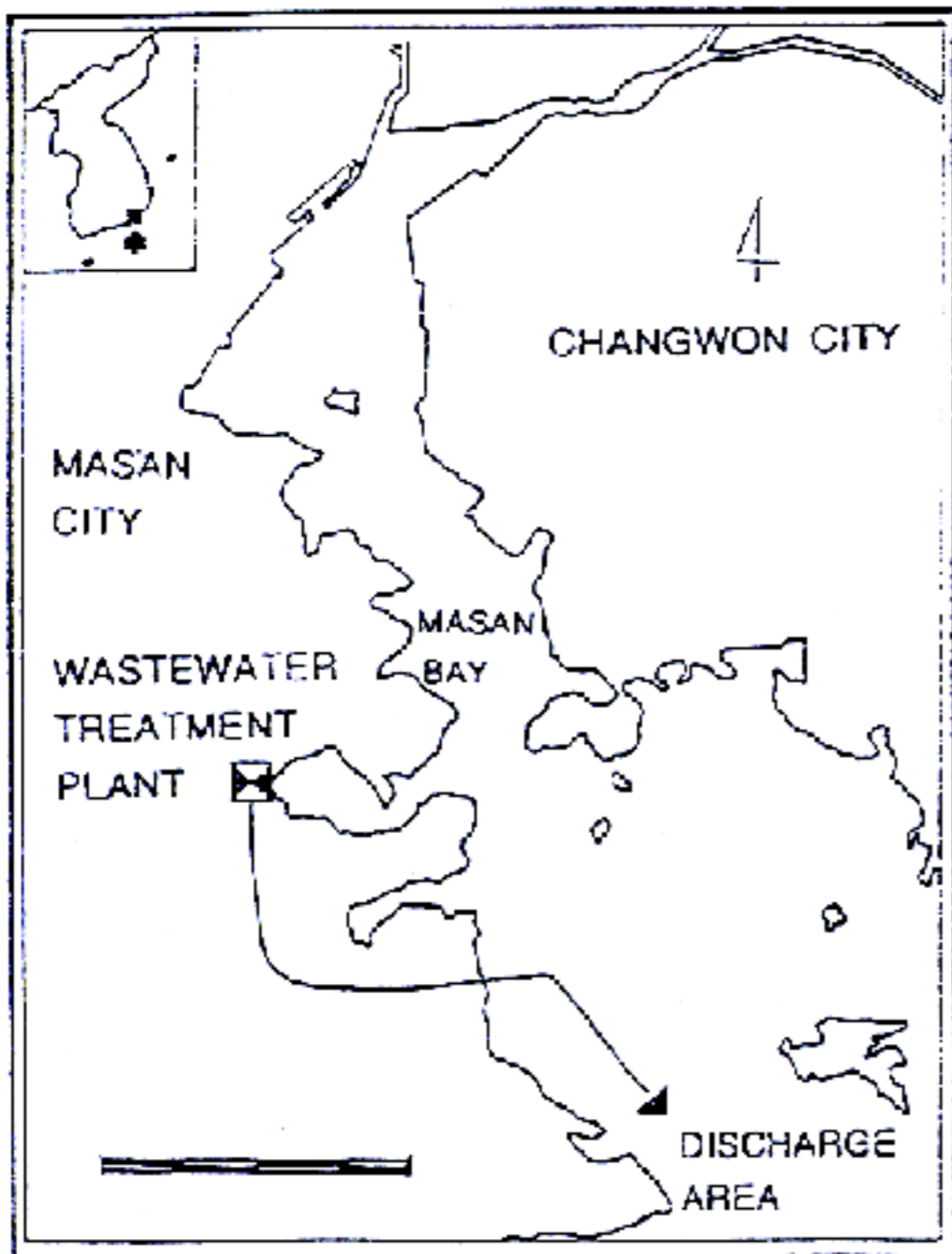


그림 2. D 하수처리장의 위치

터널을 통과하는데 소요되는 시간이 약 40분 정도이다. 특이한 점은 D 하수종말처리장은 24시간이 아니고 14시간 동안 운영되고 있다. 펌프장 가동이 오전 8시에 시작해서 오후 10시에 끝마친다.

연구의 목적이 응집제를 투입함으로써 BOD와 SS의 제거 효율이 어느 정도 향상되는 지를 조사하는 것이므로 현장 실험에서는 SS, BOD, COD를 측정하였고, 이들 외에 인과 질소의 농도도 함께 측정하였다. 시료채취 초기

에 만 4시간 간격으로 유입수와 방류수의 시료를 채취해서 분석하였고, 그 후에는 시료를 매 시간 채취하였다. 탁도는 채취시마다 측정하였고, SS, BOD, COD, T-P는 채취된 시료를 혼합해서 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Jar 시험

처리장에 투입할 응집제를 결정하기 위해서 이러가지 종류의 응집제를 비교한 Jar 시험결과중에서 가장 대표적인 결과가 Table 3에 제시되어 있다. 이 시험에 사용된 원수는 33.8mg/l의 COD와 78mg/l의 SS 그리고 탁도는 11.2ntu였다.

33.8mg/l중에서 15.2mg/l의 COD는 용존성 COD이었다. Table 3에는 4가지 응집제의 탁도 제거 효율을 비교한 결과가 제시되었는데, 이 중에서 Hi-PAX, PASS, ALUM은 알루미늄 응집제이고, PIX는 철 응집제이다. 앞에서도 언급된 바와 같이 Hi-PAX는 17%의 산화 알루미늄을, 그리고 PASS와 ALUM은 각각 8.3%의 산화 알루미늄을 함유하고 있다. PASS는 Si성분이 Al 골격내에 삽입된 것으로 침전효과등이 개선되는 장점이 있다. PIX는 14% 산화 철을 함유하고 있다.

Table 3에 의하면 탁도제거에 가장 효율적인 응집제는 Hi-PAX인데, 이 결과는 예상된 것이었다. 응집에 실질적으로 사용되는 것은 알루미늄이나 철과 같은 금속이온들인데, Hi-PAX의 알루미늄 함유량이 높고 분자량이 크기 때

그림 3. 여러 응집제의 탁도제거효과 분석

Dosage	30ppm	40ppm	60ppm	90ppm	120ppm
Hi-PAX	1.4	1.0	1.1	1.5	-
PASS	2.1	1.8	1.6	0.75	0.67
ALUM	2.9	2.1	1.4	0.81	0.80
PIX*	2.5	1.6	1.2	0.95	0.55

*poly iron salts

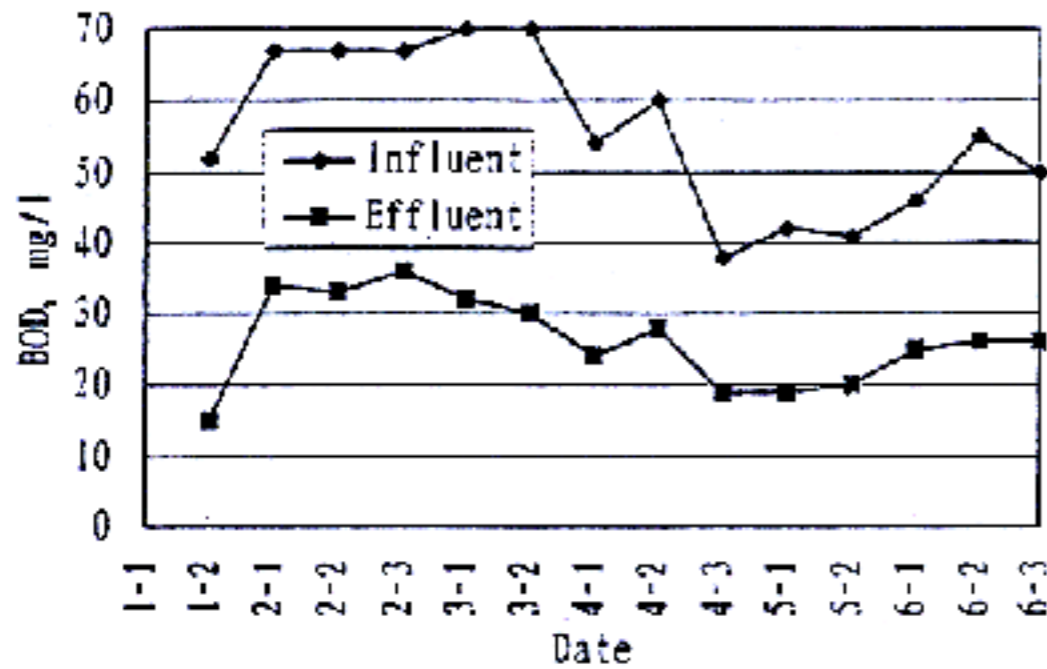


그림 3. 화학적 처리에 의한 BOD 제거효과

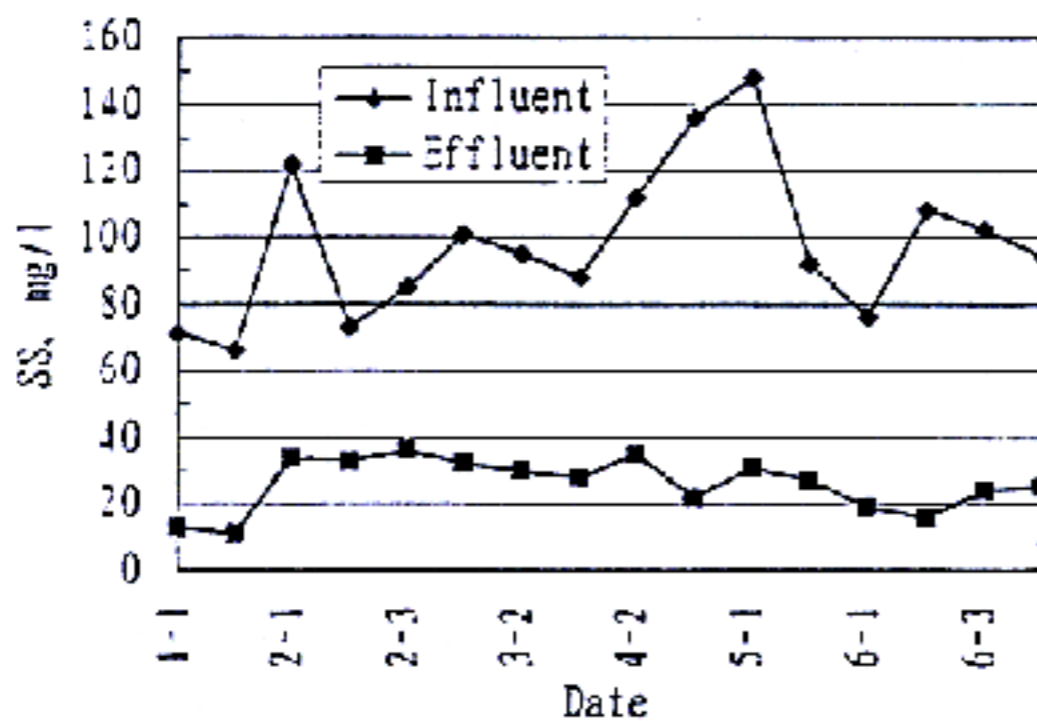


그림 4. 화학적처리에 의한 SS 제거효과

문으로 사료된다. Hi-PAX의 산화알루미늄 함유량이 PASS나 ALUM의 함유량의 2배 이므로, Hi-PAX는 PASS나 ALUM의 투입량의 반으로도 같은 효율을 갖게 된다. 이는 Table 3에도 잘 나타나 있다. Hi-PAX 40ppm을 투입함으로써 얻을 수 있는 결과가 PASS나 ALUM에서는 약 80ppm 나타냈다. Hi-PAX를 사용함으로써 얻을 수 있는 또 다른 장점은 적은 슬

러지량이다.

Table 3에는 제시되어 있지 않지만, Hi-PAX가 COD의 제거에도 가장 좋은 효율을 나타내었다. Hi-PAX 40ppm을 투입하였을 때, 원수에 있는 COD의 69% 까지도 제거할 수 있었다. 반면에 PIX는 60ppm, 그리고 PASS는 90ppm까지 투입하였을 때, 그에 상응하는 COD 제거효율을 얻을 수 있었다. Hi-PAX의 최적 투입량은 일련의 Jar 시험을 거쳐서 30ppm으로 확정되었다. 이 시험에 사용된 원수의 탁도는 33.6ntu이었다.

3.2 화학적처리에 의한 BOD와 SS 제거

현장 실투입 기간이 약 4개월 이었지만 실제 응집제 투입 기간은 약 16일로 Table 5와 같이 연속적인 테스트 기간은 아니었다. 응집제를 투입하는 기간 동안의 D 하수종말처리장의 BOD와 SS현황이 Fig. 3과 4에 제시되어 있다. 이 기간 중에는 처리장에 유입, 유출 되는 BOD의 평균은 각각 56, 26mg/l이었다. 이 수치는 처리장의 BOD와 SS제거율이 각각 53%, 73% 인 것을 나타낸다. 반면 1994년 한해 동안 D 하수종말처리장에 유입, 유출되는 BOD의 평균은 48, 34mg/l이었고, 유입, 유출되는 SS의 평균은 110, 70mg/l 이었다. 이는 기존 처리장의 BOD와 SS 제거 효율이 각각 29%, 36%인 것을 나타낸다. 이를 응집제를 투입하였을 때에 처리효율과 비교하면 응집제를 투입하면서 처리장의 BOD와 SS 제거효율이 2배정도 개선된 것을 알 수 있다.

Henze와 Harremoes⁴⁾에 의하면 오염물질은 그들의 크기에 의해서 입자성, 콜로이드성

표 4. 현장시험 요약

Order	Period	Duration	Hi-PAX Dosage
1st.	November 16~17, 1994	2days	30ppm
2nd	February 21~23, 1995	3days	20ppm
3rd	February 24~25, 1995	2days	30ppm
4th	March 14~16, 1995	3days	30ppm
5th	March 20~21, 1995	2days	35ppm
6th	March 22~25, 199	4days	40ppm

(0.01-1.0 μ m), 및 용존성(< 0.01 μ m)으로 구분해 볼 수 있다. 이 중에서 입자의 크기가 대개 100 μ m 보다 큰 물질은 물리적 침전이 가능하지만, 콜로이드성 물질과 용존성물질은 일반적으로 응집체에 의해서 침전되기가 어렵다. 콜로이드성 물질과 용존성 물질중에서는 콜로이드성 물질만이 화학적 처리에 의해서 제거가 가능하고 용존성 물질은 화학식처리에 의해서 제거가 어렵다. Henze와 Harremoes는 하수에 있는 COD의 성상을 조사하였는데, 이들에 의하면 일반적으로 전체 COD 중 57%는 입자성, 19%는 콜로이드성, 그리고 24%는 용존성 COD이다. 이는 물리적 침전에 의해서 얻을 수 있는 최대한도의 COD 제거 효율은 57% 정도이고 화학적 처리를 실시함으로써 제거효율을 76%까지 향상시킬 수 있다는 것을 의미한다. 실지로 Odegaard와 Karlsson⁵⁾이 조사한 바에 의하면 노르웨이에서 화학적 처리를 실시하고 있는 87개 하수 종말처리장의 평균 COD 제거율은 78% 이었다.

위의 사실에 근거해서 D 하수종말처리장의 유기물질 제거율을 조사하여 보았다. D 하수종말처리장에 유입되는 유기물질의 상당 부분이 콜로이드성과 용존성이었으며, 유기물질을 측정된 결과 이들이 전체 COD의 45~91% 평균 64%를 차지 하였다. 이는 D 하수종말처리장에 유입되는 하수 COD 중 입자성 COD는 36%이고, 용존성과 콜로이드성 COD의 합이 64%라는 것을 의미한다. 이를 노르웨이의 하수 성상과 비교하면 D 하수종말처리장에 유입되는 하수는 상대적으로 적은 량의 입자성 COD를 함유하고 있는 것을 알 수 있다. 화학적 처리를 실시하여 BOD의 제거효율이 29%에서 53%로 향상되었다. COD의 성상이 BOD의 성상과 같다고 가정을 하면 입자성 COD는 모두 제거되면서 콜로이드성 COD도 일부 제거된 것을 알 수 있다. 여기서는 콜로이드성 COD와 용존성 COD를 구분해서 분석하지 않았으므로 어느 정도의 콜로이드성 COD가 제거되었는지 판단하기 어렵다. 그런데 Jar 시험에서는 화학적 처리에서 얻을 수 있는 최대의 COD 제거효율

을 얻을 수 있고, 화학적 처리에서는 입자성과 콜로이드성 COD가 제거되므로 실제적으로 Jar 시험에서 얻어진 COD 제거효율은 입자성과 콜로이드성 COD의 합을 나타낸다고 할 수 있다. 본 연구에서 실시된 Jar-시험 결과 66~69%의 COD 제거효율을 얻을 수 있었으므로, D 하수종말처리장에 유입되는 입자성과 콜로이드성 COD의 합은 66~69%정도 된다는 것을 알 수 있다. 여기서 입자성 COD가 36%이므로 콜로이드성 COD는 30~33% 평균 32%가 되고, 용존성 COD는 32%가 된다. COD 제거효율이 64%인 반면, BOD 제거효율이 53%인 것은 화학적 처리가 효율적으로 실시되지 못한 것을 알 수 있다. 유입 BOD가 48~56mg/l일 때 용존성 BOD는 15~18mg/l가 되므로, 현장에서 화학적 처리를 Jar 시험조건과 유사한 조건으로 처리한다면, BOD를 20mg/l이하(1996년 1월부터 적용)로 방류하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

우리나라에는 화학적 처리를 실시하는 처리장이 없으므로 화학적 처리에 의한 SS 제거효율의 향상을 조사하기 위해서 외국의 예를 찾아보았다. 북유럽의 노르웨이의 경우 화학식처리를 실시하는 87개 하수처리장의 평균 유입 SS와 유출 SS는 각각 233mg/l, 17mg/l로 제거효율은 93%이었다.⁵⁾ 반면 미국의 경우는 화학적 처리를 실시하는 19개 처리장의 평균 유입 SS와 유출 SS는 각각 182mg/l, 52mg/l로 제거효율은 71%이었다.⁶⁾ 이러한 유럽의 예와 비교해보면 D 하수종말처리장의 SS 제거효율(73%)은 그리 높지 않다는 것을 알 수 있었다. Jar 시험결과와 비교해 보면 처리효율은 높지 않다. Table 3, 4에 의하면 Hi-PAX 30ppm을 주입함으로써 얻을 수 있는 탁도 제거 효율은 81~96%이었다. 같은 농도에서의 화학적 처리에 의한 SS 제거효율은 91~96%이었다. 이는 현장 실투입이 효율적으로 실시되지 못했다는 것을 의미한다.

Jar 시험과 비교해서 현장 실투입의 효율이 낮은 이유중의 하나는 현장 실투입시 교반조건이 최적상태가 아니었음을 의미한다. Jar 시험

표 5. 화학적 처리에 의한 SS와 T-P 제거효과

Coagulant applied period	Coagulant Dosage	SS removal Efficiency	T-P removal Efficiency
1st.(November 16~17, 1994)	30ppm	82%	65%
2nd.(February 21~23, 1995)	20ppm	62%	20%
3rd.(February 24~25, 1995)	30ppm	68%	41%
4th.(March 14~16, 1995)	30ppm	74%	64%
5th.(March 20~21, 1995)	35ppm	75%	73%
6th.(March 22~25, 1995)	40ppm	77%	72%

에서는 응집제가 400rpm의 급속 교반중에 주입되고 이어서 40rpm의 완속교반이 이어진 반면, 현장 실험에서는 응집제가 포기 침사지 출구에 주입되었고 이어서는 터널을 통과하였다. 포기 침사지에서 수리학적 교란이 응집제의 혼합을 위한 급속교반으로는 불충분하였을 뿐 아니라 터널에서의 과도한 교반으로 현장 실험의 효율이 Jar 시험보다 떨어지게 된 것으로 사료된다. 터널에서의 속도경사(velocity gradient)를 산출한 결과 G수치가 150sec⁻¹으로 판명되었다. 일반적으로 화학적 처리에서 완속교반은 G 수치로 10~70sec⁻¹의 범위에서 실시되는 것을 고려하면 현장실험에 사용된 완속교반이 적절한 응결에는 너무 과한것을 알 수 있다. 이로 인해서 플록이 터널에서 깨지면서 처리효율이 저하되었을 것으로 사료된다. 이외에 처리상 반송수의 수질악화도 화학적 처리의 효율을 저하시킨 이유중의 하나이다. 실제 처리장에서는 농축조, 소화조, 소화농축조의 상등액 및 탈수기의 여액이 초침 분배조로 반송되고 이들 반송수는 유입수와 함께 침전과정을 거친다. Table 5에 제시된 투입 시기별 SS 제거효율을 조사하면 이를 알 수 있다.

Table 5에 의하면 SS 제거효율이 1차 투입 이후에 급격히 저감된 것(특히 2,3차 투입시)을 알 수 있다. 3차 투입에서 응집제 투입량을 20ppm으로부터 30ppm으로 증가시키면서 SS 제거 효율이 조금 향상되었으나 1차 투입시기 만큼 회복되지는 못했다. 3차 투입후에는 SS 제거효율이 저감된 이유가 반송수의 수질악화 때문일 것이라는 추측을 하게 되었다. 이는 초침 분배조의 수질이 1차 투입시와 2,3차 투입

시에 차이가 있음이 육안으로도 판별되었기 때문이다. 유입수와 초침 분배조의 SS 농도를 비교해 본 결과 반송수에 의해서 SS는 45~96%까지 증가하였다. 그러므로, 4차 투입시 부터는 반송수의 수질을 안정시키기 위해서 여러 방법을 강구하였다. 이 방법이 큰 효과를 주지는 못했으나, 2,3차 투입시 보다는 SS 제거효율을 향상시킬 수 있었다.

3.3 화학적 처리에 의한 질소와 인의 제거

현장 실험시의 질소 농도는 1차로 응집제를 투입할 때만 분석하였는데, 그 때의 유입, 유출된 T-N 농도는 각각 평균 35mg/l, 40mg/l이었다. 방류수의 질소농도는 응집제를 투입하기 이전에도 유입수의 질소농도 보다 높았다. 방류수의 질소농도가 유입수의 농도보다 높은 것은 반송수 때문인 것으로 사료된다.

Henze와 Harremoos에 의하면 일반 하수에서 T-N의 평균농도는 30mg/l이고 이중에서 1/3정도는 유기질소(11mg/l)이고 나머지 2/3는 암모니아이다(19mg/l) 유기질소 중에서는 2mg/l 정도는 용존성 질소이고, 3mg/l는 콜로이드성 질소, 나머지 6mg/l은 입자성 질소이다. 그러므로 처리장에서는 물리적 침전에 의해서 입자성 질소의 일부분이 제거되고 응집제를 투여함으로써 콜로이드성 질소까지의 제거가 가능하게 된다. 이는 응집제를 투여함으로써 얻을 수 있는 최대의 질소 제거 효과는 30%인 것을 의미한다. 아무리 반송수때문이라고 하나 방류수의 질소농도가 유입수의 농도보다 높은 것은 D 하수 종말처리장의 질소성상이 일 반하수와는 달리 암모니아 성분과 용존성 질소

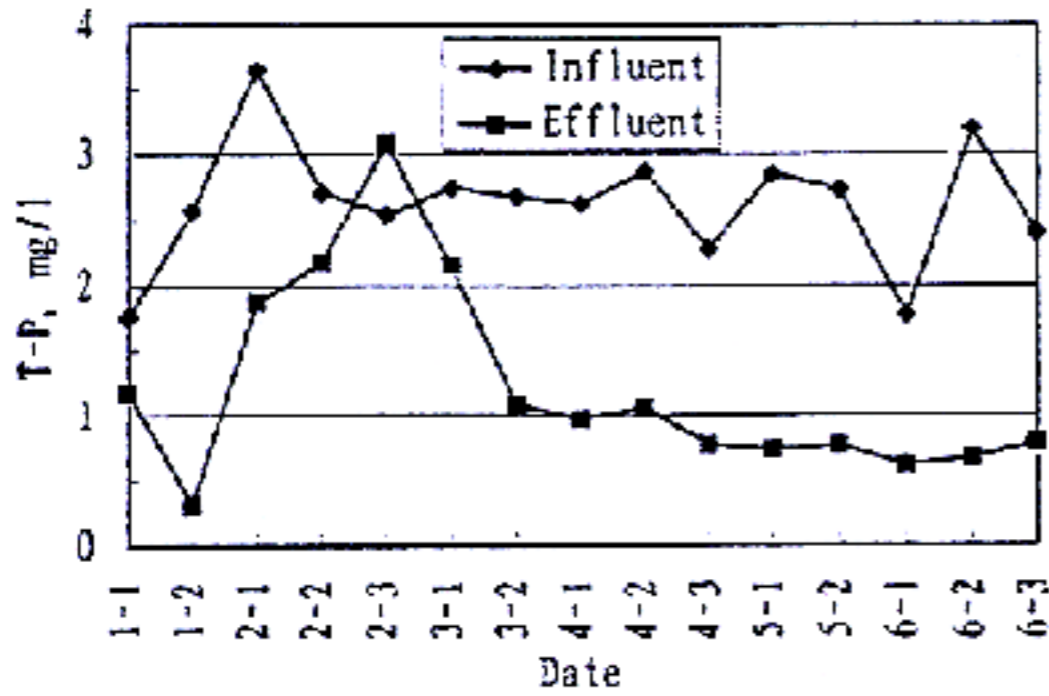


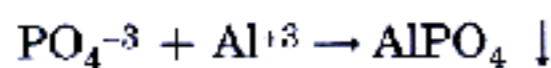
그림 5. 화학적 처리에 의한 T-P 제거효과

성분이 많기 때문인 것으로 사료된다.

화학적 처리에 의한 인의 제거효율은 Fig. 5에 제시하였다. 이 그림은 2차 및 3차 투입시를 제외하고 방류수의 인농도가 1mg/l 이하로 저하되는 것을 나타낸다. 화학적 처리를 실시하기 이전에는 D 하수종말처리장에서 약 30%의 인이 제거되었다. 반면 화학적 처리를 실시하면서 인 제거효율이 Table 6, Fig. 5에 제시된 바와 같이 64~73%로 향상되었다.

응집제에 의해서 부유입자 혹은 인이 제거될 때 일어나는 모든 반응은 dissolved/nondissolved 경계에서 일어나기 때문에 처리원수에 투입될 때, 응집제 자체는 농도의 급격한 감소와 pH의 급상승이 일어난다. pH가 한계점 (pH = 5 - 7.5)에 도달하면 수산화알루미늄의 생성이 촉진되면서 응집이 일어나기 시작하며, 최소용해도 경계영역을 벗어나게 되면, 응집효과가 감소하게 될 뿐 아니라 인의 제거효율도 저하한다. $Al(OH)_3$ 혹은 $Al(OH)_2^+$ 와 같은 이온은 pH에 아주 민감하므로 pH가 증가할수록 활성화 혹은 비활성화된 알루미늄 착화합물로 전환하게 된다. 인의 제거는 주어진 조건에 따라 민감하게 변하므로 원수의 pH, 알칼리도에 주의를 기울여야 한다.²⁾ 인의 제거 반응경로는 다음과 같다.

a) 화학적 반응



인산이온은 OH-와 경쟁적으로 Al^{3+} 과 화학적반응을 하여 침전

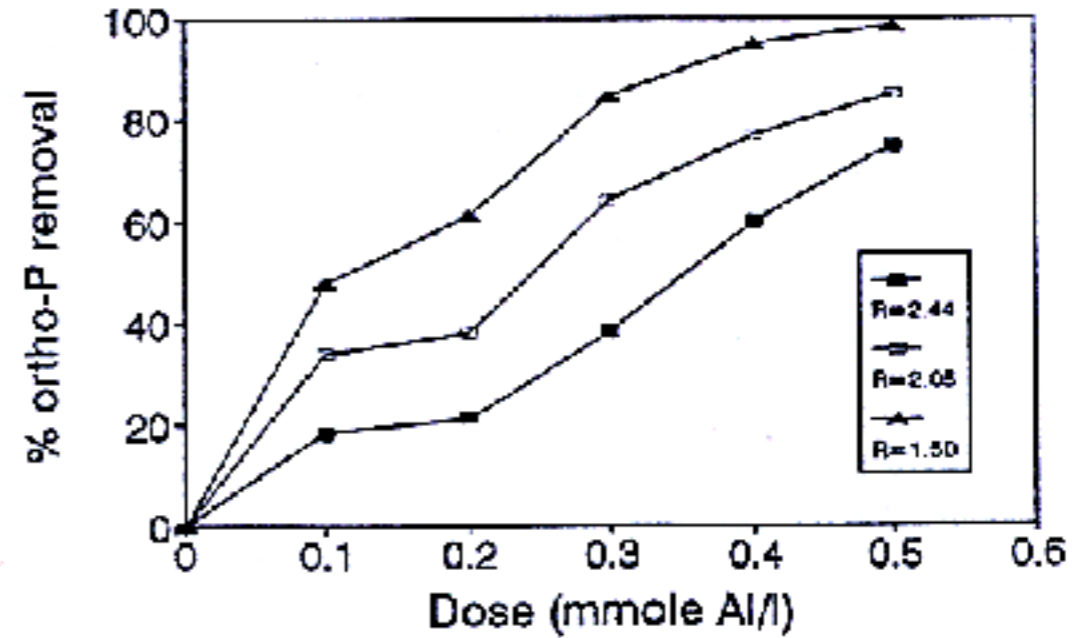


그림 6. 응집제의 염기도가 Ortho-P 제거에 미치는 영향(R = OH/Al).

b) 물리적 흡착

PO_4^{3-} 이온이 무정형의 $Al(OH)_3$ (s)에 흡착되기

c) Complex 화합물 형성

PO_4^{3-} 이온과 응집제에 의한 hydrolysis species의 양이온과의 화학적인 반응에 의하여 침전

상기에서 a) 반응은 pH가 중요한 변수이며 낮은 범위(4-6)에서 선택적으로 침전반응이 일어난다. 그러나 pH가 중성영역을 넘어서면서 수화반응이 촉진되므로 투입한 응집제의 수산화 알루미늄 생성속도가 증가한다. 그런 경우 인은 수산화알루미늄과 흡착에 의한 제거가 선택적으로 일어난다. 본 현장테스트에서는 상기의 메카니즘이 복합적으로 나타날 것으로 생각된다. 특히 Fig. 6에 나타나 있는 것처럼, ortho-phosphate는 응집제의 염기도에 따라 제거율이 크게 변하므로 원수에 따라 적절한 응집제를 선택하여야 하며, SS 감소만을 염두해 둔다면 응집제의 염기도(OH/Al)를 증가시키는 것이 유리하다.³⁾

3.4 화학적 처리가 기존 처리장에 미치는 영향

화학적 처리가 기존 처리장에 미치는 가장 큰 영향은 슬러지의 증가이다. 화학적 처리를 실시함으로써 SS 제거 효율이 향상되면서 슬러지의 양이 증가하고, 동시에 응집제 자체도 슬러지의 양을 증가시키는 하나의 요인이 된다.

이것을 식으로 나타내면 다음과 같이 되며, 이 식을 이용해서 화학적 처리를 실시함에 따라 생산되는 슬러지의 양을 산출할 수 있다.

$$SP = SS_{in} - SS_{out} - K_c D$$

SP - Sludge production

SS_{in} - Influent SS

SS_{out} = Effluent SS

K_c - Coagulant coefficient

D = Coagulant dosage

D 하수종말처리장에서 화학적 처리를 실시함으로써 증가되는 슬러지의 양을 계산한 결과는 Table 6에 요약되어 있다. 이 계산은 150,000m³/일의 유량에 근거하고 있다. Table 6에 의하면 기존 처리장은 하루에 6톤의 슬러지를 생산하고 있는데, 화학적 처리를 실시하면서 슬러지 양이 16.8톤으로 증가 된다. 이중 SS 제거로 인한 슬러지가 10.8톤이고, 응집제로 인한 슬러지가 6톤이다. 화학적 처리를 실시하면서 생산되는 슬러지양이 증가하면 인출하는 슬러지의 양도 따라서 증가시켜야 하나, 현장 실험기간 동안 이를 실시하지 못했다. 그 결과 처리장에서 슬러지가 누적되었고 이는 반송수의 수질을 악화시키는 원인이 되었다. 한편 악화된 반송수의 수질은 앞에서도 언급한 바와 같이 화학적 처리의 효율을 감소시켰다. 응집제 투입에 따라서 생산되는 슬러지의 성상이 달라지면서 슬러지 처리에도 영향을 미칠 수 있다.

4. 결 론

국내에서 처음으로 하수의 화학적 처리법이 현장에 적용되었다. D 하수 종말처리장에 화학적 처리를 수행해 본 결과 기존의 하수처리장에 화학적 하수처리 기술을 적용하는 것은 타당한 것으로 사료되었다. 2 단계 사업이 완료되는 1999년에는 강화될 수질기준(BOD, SS < 20mg/l)을 만족시킬 수 있을 것으로 사료되나 현재의 1차 물리적 침전법 만으로는 내년부터 강화되는 수질기준을 만족시키기가 거의 불가능한 상태이다. 그러므로 2단계 사업이 완료될 때까지는 응집제를 이용하는 화학적 처리가 방류수질을 개선할 수 있는 하나의 방법으로 생각된다. Hi-PAX 30ppm을 처리장에 주입함으로써 평균 26mg/l의 방류 BOD를 기록하면서 세기율이 기존의 29%에서 53%로 향상되었다. 한편 SS 제거율은 36%에서 73%로 향상되었고, 방류수도 평균 26mg/l를 기록하였다. 이는 기존 처리장의 BOD, SS 제거 효율보다 2배 정도 향상된 수치이다.

본 연구에서 실시된 화학적 처리는 개선의 여지가 있는 것으로 사료된다. 응집제는 수질에 따라 응집효과가 달라지므로 최적조건을 잘 잡아주는 것이 중요하다. 특히 초기급속교반과 완속교반은 SS나 COD제거에 상당한 영향을 미치므로 화학적 하수처리를 수행할 때에는 교반조건을 Jar 시험조건에 근접하도록 해 주어

표 6. 화학적 처리시의 슬러지 처리비용 분석

	Without chemical treatment	With chemical treatment
SP(sludge production), g SS/day	6	16.8
SS _{in} (influent SS), g SS/m ³ flow	110	98
SS _{out} (effluent SS), g SS/m ³ flow	70	26
K _c (coagulant coefficient) g SS/g metal as Al	-	11*
D (Coagulant dosage) g metal as Al/m ³ flow	-	3.65

*The value of coagulant coefficient was taken from the reference 5).

야 한다. 본 연구과정에서 화학적 처리의 효율이 그리 높지 않았던 이유는 두 가지로 요약될 수 있다. 첫째는 현장실험투입의 교반조건이 나쁜 것이고 두번째는 반송수의 수질악화이다. 이는 별도의 급속교반이나 완속교반을 실시하거나 플록의 강도를 높이기 위해서 고분자 유기응집제를 사용함으로써 해결할 수도 있겠다. 두번째 문제는 반송수의 수질을 바로 잡는 것인데, 이는 인출되는 슬러지의 양을 생산되는 슬러지의 양에 맞추어 조절함으로써 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

유기물질중의 입자성분은 응집제에 의하여 제거가 가능하나 용존성 BOD 및 질소는 제거되기가 어려움으로 화학적 처리를 통해서 제거될 수 있는 것은 주로 입자성 유기물이다. 따라서 하수중 유기물의 제거는 용존성/입자성 입자의 상대적 비율에 따라 달라진다. 그러나 상기에서 언급한 두가지 개선 사항을 해결함으로써 96년 1월 1일부터 강화된 BOD와 SS 기준인 20mg/l는 화학적 처리에 의해서 만족시킬 수 있을 것으로 사료된다.

기존 처리장이 30% 정도의 인을 제거하는데 반하여 화학적처리를 실시하면서 인 제거효율이 64~74%로 향상되었다. 일반적으로 질소보다는 인이 수질오염에 더 큰 영향을 미치므로, 화학적 처리에 의한 인의 제거율 증가는 마산만 수질 오염 방지에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

화학적 처리를 수행함으로써 처리장의 운영에 미치는 영향은 슬러지에 있으므로, 증가되는 슬러지를 효율적으로 처리할 수 있는 대책이 필요하며, 또한 슬러지의 성상이 물리적 슬러지에서 화학적 슬러지로 변하게 되므로 이에

대한 연구도 향후 계속되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 이찬원, 권영택, 한성대, 염말구, 정우선, 노경희, "마산만 준설에 따른 해양환경 종합 모니터링" 마산시 (1994).
2. 광종운, 최정환, "무기응집제(Hi-PAX)에 의한 화학적 하수처리", 하수도심포지움, p.87~107(1994).
3. 광종운, Lars Gillberg, "하수처리에서 응집제의 염기도가 인제거에 미치는 특성", 5th 수처리기술심포지움(1995).
4. Henaze, M And Harremoes, P., "Characterization of Wastewater; The Effect of Chemical Precipitation on the Wastewater Composition and its Consequences for Biological Denitification, In Chemical Water and Wastewater Treatment (II), H.H Hahn and R. Klute (Eds.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, pp.299-311(1992).
5. Odegaard, H. And Karlsson, L., "Chemical Wastewater Treatment-Value for Money", In Chemical Water and Wastewater Treatment (III), R. Klute and H.H. Hahn, (Eds.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, pp.191-209(1994).
6. Morrissey, S.P And Harleman, D.R.F., "Retrofitting Conventional Primary Treatment Plants for Chemically Enhanced Primary Treatment, In Chemical Water and Wastewater Treatment(III), R. Klute and H.H. Hahn, (Eds), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, pp.401-416(1994).
7. Kawarrua, S., Intergrated Design of Water Treatment Facilities, John Wiley & Sons, Inc., ppm 95-127(1991).