

울산하수처리장의 화학적인 수질개선

박홍석 · 조영국

토목환경공학부

<요약>

본 연구의 목적은 1차 처리를 하는 울산하수처리장을 화학적 응집제의 첨가로 수질을 개선하는 것이었다. 설계당시의 BOD, COD 및 SS의 제거효율은 40 ~ 60%이었으나 현재의 제거효율은 30 ~ 40%이다. 그러나 설계당시 고려되지 않았던 총질소와 총인의 제거율은 각각 30%, 3%이었다.

소량의 응집제 Hi-PAX(Poly Aluminum Chloride Silicate)를 펌프동 유입부에 주입하여 모든 항목에서 오염물의 제거율이 향상되었다. SS의 제거율은 80 ~ 90%로, BOD는 70%로, COD는 각각 55%로 향상되었다. 또한 총질소의 제거효율은 3%에서 30%로 총인의 제거효율은 30%에서 90%로 증가하였다.

종합적인 오염인자인 OCP(Oxygen Consumption Potential)는 기존 1차 침전공정은 전체 오염물의 15%정도만 제거할 수 있으며 생물학적 처리는 39%, 그리고 화학적 처리는 50%내외로 처리되는 것으로 나타났다. OCP 1kg를 처리하는데 소요되는 단위처리비용은 기존 1차 처리공정의 33%, 1차처리후 생물학적 처리할 경우의 75% 수준이었다.

Chemical Retrofit of Ulsan Municipal Wastewater Treatment Plant

Park, Hung-Suck · Cho, Young-Kuk

Dept. of Civil Engineering

<Abstract>

The objective of this study was to upgrade the efficiencies of Ulsan primary municipal wastewater treatment plant by chemical application. The present removal

efficiencies of BOD, COD and SS were in the range of 30 ~ 40% while the design target were 40 ~ 60%. But the removal of total nitrogen and phosphorous, which components were not considered at the time of design, were 30 % and 3 %, respectively.

The simple application of small amount of Hi-PAX(Poly Aluminum Chloride Silicate) to the inlet of screw pump shows enhanced removal efficiencies in all contaminants. The removal of SS increased to 80 ~ 90% while BOD and COD to 70% and 55%, respectively. In addition, the removal of total nitrogen and phosphorous removal also increased from 3% and 25% to 30% and 90%, respectively.

The removal of integrated pollution parameter OCP(Oxygen Consumption Potential) in present primary treatment was 15%, 39% in biological treatment after primary treatment and about 50% in chemical treatment. The unit cost of OCP removal in chemical treatment was 33% of that of present primary process, 75% of that of biological treatment after present process.

Key Words

Upgrade, Hi-PAX, OCP, Enhanced removal efficiency

1. 서 론

울산 하수처리장은 1990년 완공 목표로 하루 25만톤 처리규모의 1차 침전 하수처리시설로서 1987년 11월에 착공하여 6년이 지연된 1996년 2월에 준공하였으나 설계 당시와 수질기준등 여러 상황이 달라져 이의 시급한 개선이 필요한 실정이나 2차 처리시설의 증설에 따른 투자비와 사업기간 등의 이유로 상당기간 수질기준을 만족시킬 수 없는 상황이다.

하수처리의 화학적 처리역사는 100년이 넘으나 20세기초에 개발된 생물처리공정이 유기물을 주처리대상으로 하는 하수의 특성상 경제성이 있으므로 그 이후의 하수처리는 주로 생물학적 처리로 이루어져 오고 있다. 그러나 선진국의 경우 1980년대에 들어와 여러 가지 복잡하고 다양해진 오염물질(난분해성 유기물, 생물독성 유기물, 영양염류, 중금속)을 경제적이면서 효과적으로 제거하기 위하여 생물처리공정과 화학처리공정을 복합적으로 처리하기 시작하였다. 이들은 기존하수처리장의 과부하(유량 및 수질)문제해결, 기존시설의 고도화(질소/인 동시제거), 신규처리장 건설시 투자비절감 등을 목적으로 하수처리에 화학적 처리를 적용하고 있다^{1),2,3,4)}.

우리 나라에는 1995년 말 현재 모두 71개의 하수처리장이 운영되고 있으며 시설용량은 965만톤이고 하수도 보급률은 인구비로 45%에 이를 정도로 최근 하수도에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재 국내에서 운영중인 하수처리 시스템은 1차 물리적 침전, 2차 생물학적 처리가 주류를 이루고 있으며 생물학적 처리공정으로 표준활성오니법 54개, 장기폭기법 9개, 산화구법 1개, 회전원판법 2개, 접촉산화법 1개 및 토양접촉폭기법 1개가 운영중이다⁵⁾. 또한 투자비의 부족으로 현재 1차 처리시설만으로 운영되는 처리장도 3개소에 이

른다⁵⁾. 그럼에도 하수처리장의 용량 부족, 하수관거 정비불량, 분뇨와 정화조 슬러지의 연계처리시 유입수량과 수질관리의 부적정, 전문기술인력의 부족등에 의하여 1994년 5월 현재 방류수 수질기준을 초과하는 하수처리장이 약 20% 정도나 되고 있다⁶⁾. 이와 같은 상황에서 수질환경을 획기적으로 개선하기 위한 수질환경보전법의 개정으로 1996년 1월 1일부터 방류수의 수질기준은 종전의 BOD 30 mg/l, COD 70 mg/l, SS 70 mg/l에서 BOD 20 mg/l, COD 40 mg/l, SS 20 mg/l로 크게 강화되었으며 부영양화의 원인이 되는 질소, 인이 새로 추가되어 처리기준을 만족시키지 못하는 하수처리장이 크게 늘어날 것으로 예측된다.

특히 현재 강화된 수질기준중 BOD 20 mg/l, SS 20 mg/l는 1차 침전, 2차 생물학적 처리 및 2차침전과 같은 기존 처리시스템을 최적인 상태로 운전하여야 달성할 수 있는 매우 엄격한 기준이며 질소, 인의 기준이 현실적으로 강화된다면 기존처리시설에 추가적인 시설이 필요한 실정이다.

화학적 고도화(Chemical upgrading)는 기존 하수처리장의 처리능력을 향상시키기 위하여 소량의 금속염(고분자 응집제가 사용되기도 함)을 표준 생물학적 처리공정에 투입하여 처리장의 효율을 개선시키는 것을 말하며 투입약품의 종류, 투입지점, 교반 등의 적절하도록 하여야 한다.

화학적 고도화는 기존 1차 물리적 침전지를 추가시설 없이 화학적 침전지로 바꾸는 1차 침전 고도화(Advanced Primary Treatment)⁷⁾, 응집 및 혼화시설을 추가하는 화학적 침전(Chemical Primary), 화학적 2차처리(Chemical secondary), 화학적 3차처리(Chemical tertiary)와 폭기조에 약품을 투입하는 생물처리(single stage biological and chemical treatment) 등으로 다양하게 적용되고 있다⁸⁾. 그러나 이와 같은 화학적 기술의 적용가능성은 국가마다 오염물질의 조성과 오염정도의 변화, 사용되는 기술, 산업폐수와 도시하수의 혼합여부 및 환경기준, 사회적 수용성 등이 다르므로 적용가능성은 충분히 검토한 후 적용하여야 한다.

따라서 본 연구는 현재 1차 침전처리시설만 설치되어 현재 수질기준을 만족시키기 어려운 울산하수처리장에 화학적 처리기술의 도입타당성을 수질 및 경제성측면에서 검토하고자 하였다.

2. 연구방법 및 장치

본 연구는 울산하수처리장에 APT(Advanced primary treatment)기법을 적용하기 위한 타당성을 검토하기 위한 연구로 3단계로 실험을 수행하였다. 1단계에서는 울산하수처리장 수질 및 효율분석을 분석하였으며 특히 입자상 오염물질과 용존성 오염물질을 구분하여 측정하였다. 2단계에서는 실험실에서 Jar-test를 통한 응집제의 주입범위에 대하여 검토하였으며 3단계에서 주입지점의 결정 및 연속실험을 실시하였다. 현장의 응집제 주입에 있어 약품의 혼합정도와 floc의 응결정도에 따라 처리성능의 차이가 발생하므로 주입지점의 현장조건에 따라 응집제의 성능이 차이가 발생하게 된다. 따라서 현장에서 가장 좋은 주입지점을 결정하기 위하여 비교적 와류가 크게 형성되는 그림 2.1의 지점에 응집제를 주입하여 floc의 상태, 방류수의 박도를 분석하여 주입지점을 결정하였다. 또한 응집제투입의

실질적인 효과를 분석하기 위하여 우선적으로 기존 처리장의 수질분석을 실시하였다. 일간 시간대별 유입하수의 수질변동 및 하수처리장 운영에 따라 발생하는 장내 반송수가 방류수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 10여일에 걸쳐 2시간 간격으로 유입수(원수 + 장내반송수) 및 방류수를 채수하여 각각의 탁도를 측정한 후, 24시간의 채수를 동량씩 혼합하여 하루 평균 BOD, COD, SS, T-P, T-N을 분석하였다.

현장의 응집제 주입량에 의한 처리 효과를 분석하기 위하여 응집제 주입농도를 20, 35, 60 $\mu\text{l/l}$ 로 각각의 농도에 대하여 2일간씩 연속 주입하여 실험을 실시하였으며 원수, 펌프 동유입수, 방류수의 수질을 분석하였다.

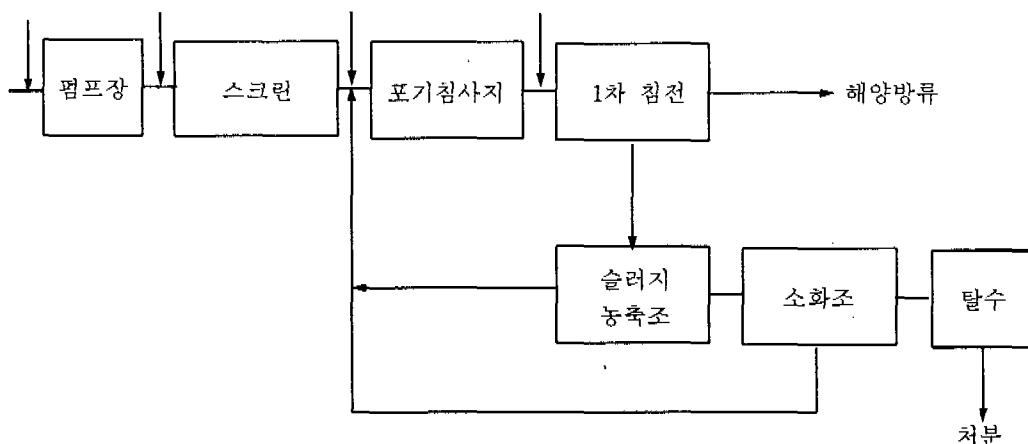


그림 2.1 Schematic diagram of chemical application points in U sewage treatment plant

- (1) 침사지 후단의 낙차부분
- (2) 폭기침사지 전단
- (3) 펌프 방류부
- (4) 펌프 유입부

3. 결과 및 토의

3.1 기존공정의 수질 및 공정평가

울산 하수처리장에 화학적 처리의 적용 가능성을 확인하기 위하여 유입수의 오염도 및 용존 오염물질의 정도, 방류수 수질등을 95년 10월 24일부터 11월 2일 까지 6일간 분석하였다. 결과를 평균하면 유입 Total COD가 25.9 mg/l, 유입 Soluble COD는 9.2 mg/l 이었으며 방류 COD수질은 17.1 mg/l로 나타났다. 유입 Total BOD는 43.7 mg/l, 유입 Soluble BOD는 12.6 mg/l이었으며 방류 BOD수질은 30.0 mg/l로 나타났다. 결과를 정리하여 그림 3.1에 나타내었다.

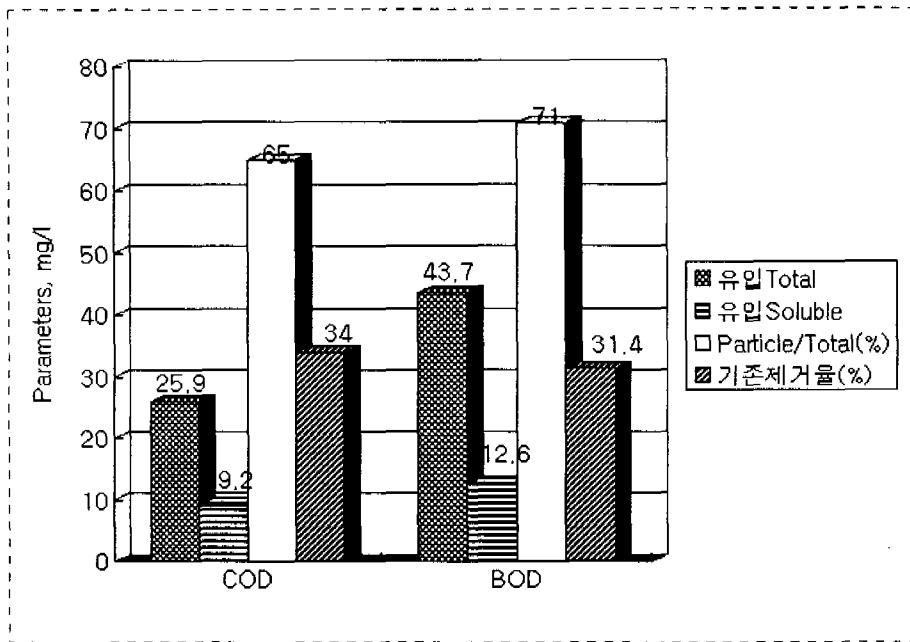


그림 3.1 기존 제거율 및 입자상 오염물질의 비율

화학적 하수처리의 적용가능성은 총 오염물질 중 입자상 오염물질의 농도가 높으나에 달려 있으며, 울산하수처리장의 경우에는 유입 BOD중 70~80%정도가 입자상으로 유입됨을 알 수 있다. 그러므로 현재 약 30% 내외인 제거율을 70% 내외 수준으로 향상시켜 방류 BOD수질을 20mg/l 이하의 수준으로 제어할 수 있을 것으로 판단되었으며 COD의 경우에는 현재 평균 약 35%의 제거율을 보여주고 있으나, 화학적 처리기술을 적용할 경우 약 60% 이상의 제거율이 기대되었다.

3.2 최적 주입농도 결정

본 실험은 약품선정실험 결과에서 최적으로 판정된 Hi-PAX(PACS)를 이용하여 탁도, SS, COD, TP, TN등 오염인자별 제거효율을 측정한 것이다. 응집실험은 각각 0, 20, 40, 60, 80, 100 $\mu\text{l/l}$ 를 주입하고 난 후, 급속교반 1분, 완속교반 10분, 침전 5분후 상등액의 수질을 분석하였다. 그림 3.2는 그 결과를 요약한 것이다.

그림에서와 같이 pH는 응집제의 주입량의 증가에 따라 미미한 감소가 있었으며 종질소는 거의 처리되지 않는 것으로 나타났다. 그러나 SS, 탁도, COD, T-P는 응집제 주입량에 의해 매우 높은 처리율을 나타났으나 20 $\mu\text{l/l}$ 이상에서의 처리율은 매우 미미하였다. 최대 SS 94.5%, 탁도 96.8%, COD 69.3%, T-P 97%의 제거율을 나타냈으나 일정 주입농도이상 주입 시에는 탁도 및 SS의 처리율이 소폭 떨어지는 경향도 보여주었다. 그러므로 처리하고자 하는 목표수질 또는 처리비용을 검토한 후 적당한 주입농도로 응집제를 주입하여야 한다.

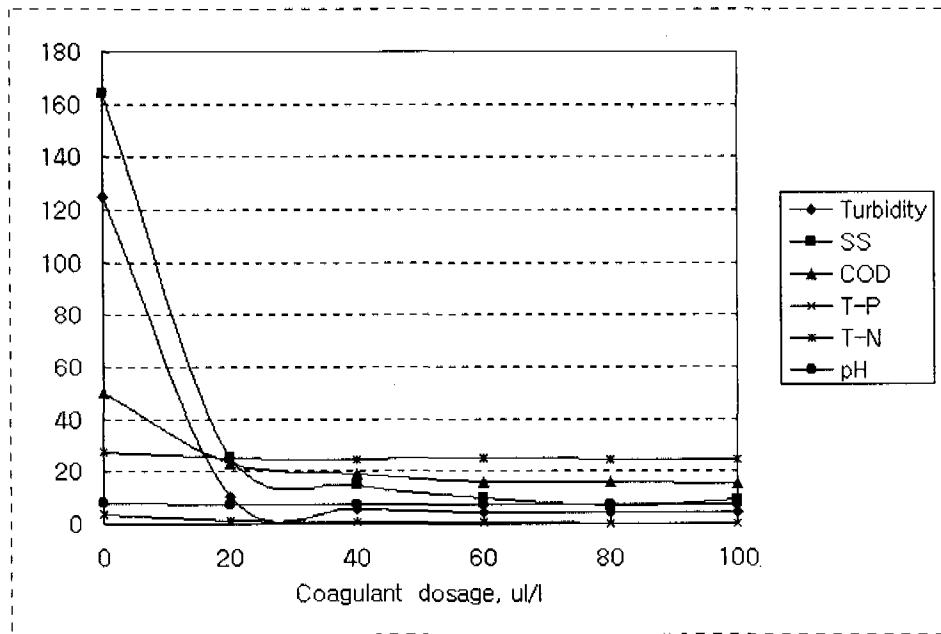


그림 3.2 응집제 주입농도 변화에 따른 수질변화

위의 실험에서 일정주입농도를 지나면서 탁도 물질이 상승하였는데 이것으로 원수의 탁도 변화에 따라 응집제의 적정 주입률이 달라짐을 알 수 있다. 따라서 그 경향을 알아보기 위하여 원수 SS 변화에 따른 적정 주입률 변동을 실험하였다. 결과는 그림 3.3에 나타내었다.

그림 3.3에서 보면 원수의 오염도와 응집제의 주입농도가 정비례 관계에 있는 것이 아님을 알 수 있다. 일반적인 울산하수처리장의 평균 유입수질인 SS 90mg/l 부근에서는 최적 주입농도가 $45\mu\text{l/l}$ 선으로 나타나고 있으나, 2배로 악화될 경우와 $\frac{1}{2}$ 배 정도 개선될 경우에는 응집제의 적정주입농도가 $60\mu\text{l/l}$ 이상으로 높아지는 것을 볼 수 있다.

특히 원수의 부유불질 농도가 높아질 때에는 응집제 주입농도의 증가에 따라 침전수의 수질이 평상시와 같이 좋아지는 경향을 보여주지만, 원수의 부유물질 농도가 너무 낮을 경우에는 전반적인 침전수질이 평상수질에 비해서 악화되는 것을 볼 수 있다. 이것은 유입원수가 처리장에 유입되기 전 침강성이 좋은 부유불질이 침전 제거된 상태로 볼 수 있으며, 침강성이 불량한 colloid 입자의 응집침전을 효과적으로 하기 위해서는 적절한 응집제 주입에 의한 Sweep 응집의 형태로 응집제가 과량 주입되어야 한다. 따라서 이 실험에서와 같이 원수의 부유물질 농도가 매우 낮을 경우 효과적인 응집의 발생이 어려우므로 탁질 성분의 응집보조제의 역할이 필요하리라고 생각된다.

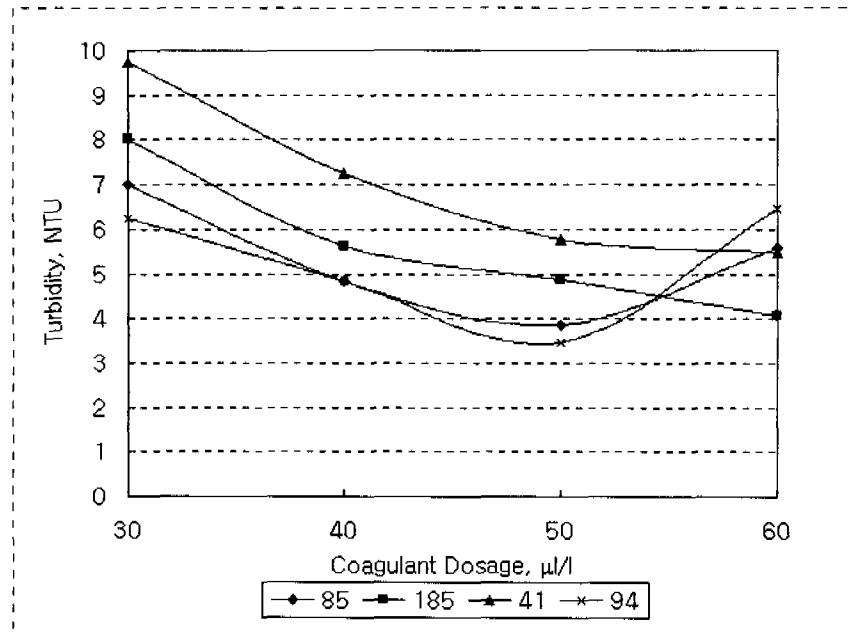


그림 3.3 원수의 부유물질 변화에 따른 응집제 최적주입농도 변화

3.3 현장적용실험

3.3.1 최적 주입지점 결정

응집제의 최적 주입지점을 결정하기 위하여 현장에서 비교적 강한 와류가 형성되고 있는 지점을 파악하여 시행착오법으로 선정하였다. 폭기침사지 전단에서는 폭기에 의한 응집활성화가 기대되었으며, 폭기침사지 후단은 낙차에 의한 와류를 이용한 혼화, 펌프동 유출부는 강한 흐름과 수로가 좁아진 때의 난류형성에 의한 혼화, 펌프흡입부에서는 펌프자체의 교반에 의한 혼화가 기대되었다. 그림 3.4는 최적주입점을 찾기 위한 현장실험결과를 요약한 것이며 최적주입점은 방류수의 탁도와 외관상 풀역형성 상태 등을 고려하여 선정하였다.

첫 번째 주입지점은 폭기침사지 전단이었으며 응집제 주입에 의한 어느 정도의 방류수질 개선은 있었으나 폭기침사지 후단에서 양호한 floc형성이 관찰되지 않았다. 이와 같은 이유는 폭기기가 정상 가동되지 않을 뿐만 아니라, 초기 급속교반 강도가 약해 floc형성에 문제가 된 것으로 생각된다.

비교적 와류가 가장 크게 형성되는 것으로 관찰된 펌프출구로 주입지점을 옮겨 시험을 한 결과 펌프출구에 응집제를 주입하자 침사지에서 풀록이 매우 잘 형성되어 풀록형성에는 성공적이었으나 방류수질의 개선효과는 미미하였다. 이는 침사지 후단의 낙차에 의한 와류와 침전지 유입부 채널에서의 와류에 의하여 floc이 깨어졌기 때문으로 판단되었다.

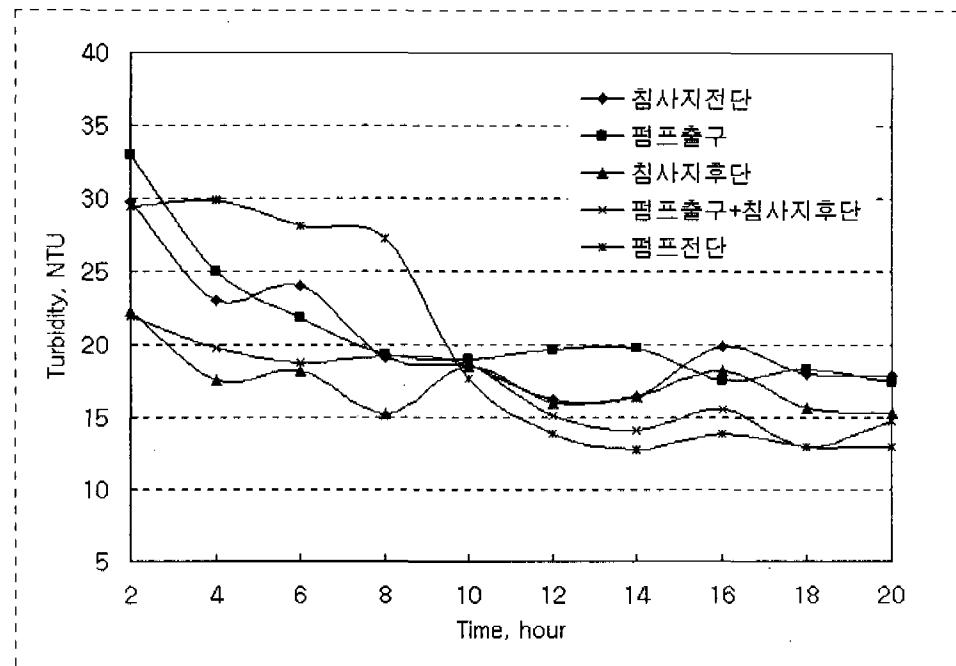


그림 3.4 주입지점에 따른 방류수의 투도

침사지 후단의 낙차를 급속교반조로 활용하고 침전지 전단을 응집조로 활용해 보기로 하고 주입지점을 침사지 후단으로 옮겨서 실험한 결과 펌프출구에 주입할 때 보다 다소 방류수질이 나빠지는 것으로 관찰되었다. 즉 낙차에 의한 상당한 응집효과가 있는 것으로 생각되었으나 응집시간이 충분하지 못한 것이 원인으로 생각되었다.

응집시간을 길게 해주고 침사지 후단 및 채널 속에서의 풀록형성을 돋는다는 측면에서 펌프출구와 침사지 후단 2곳에 주입하였다. 펌프동 유출부와 침사지 후단 두곳에 응집제를 나누어 주입해 본 결과 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 그러나, 응집제의 주입농도를 올렸음에도 수질이 기대하는 수준으로 개선되지 않고 방류수의 색도도 개선되지 않아 반응시간이 충분하지 못한 것으로 판단되었다.

펌프유입부에만 응집제를 주입하면서 가장 양호한 수질을 보여주어 펌프동 유입부를 응집제 최적주입지점으로 선정하고 주입농도를 조정하면서 후속 연속실험을 실시하였다.

3.3.2 연속실험결과

원수 수질에 따라 응집제의 최적 주입농도가 달라질 뿐만 아니라, 공정중 풀록의 깨짐에 의한 주입농도 증가의 필요가 예상되어, 응집제 주입농도를 $20, 35, 60 \mu\text{l/l}$ 로 2일간씩 주입하면서 응집제 주입농도 변화에 따른 방류수의 농도변화를 분석하였다. 그 결과를 항목별로 응집제 주입전과 비교하여 분석하였다.

현장에서 응집제 주입농도의 변화에 따른 원수, 유입수, 방류수의 SS변화가 그림3.5에 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 응집제주입전에 약 40%선이던 SS제거율이 응집제

의 주입에 의하여 80~90%선으로 크게 향상된 것을 볼 수 있으며, 현재 수질에서 20 mg/l 이하의 방류수질 기준도 어렵지 않게 충족시킬 수 있음을 보여 주고 있다. 장내 반송수의 악화에 따른 유입수질의 악화에도 불구하고, 방류수질은 매우 안정적인 경향을 보여 주었다.

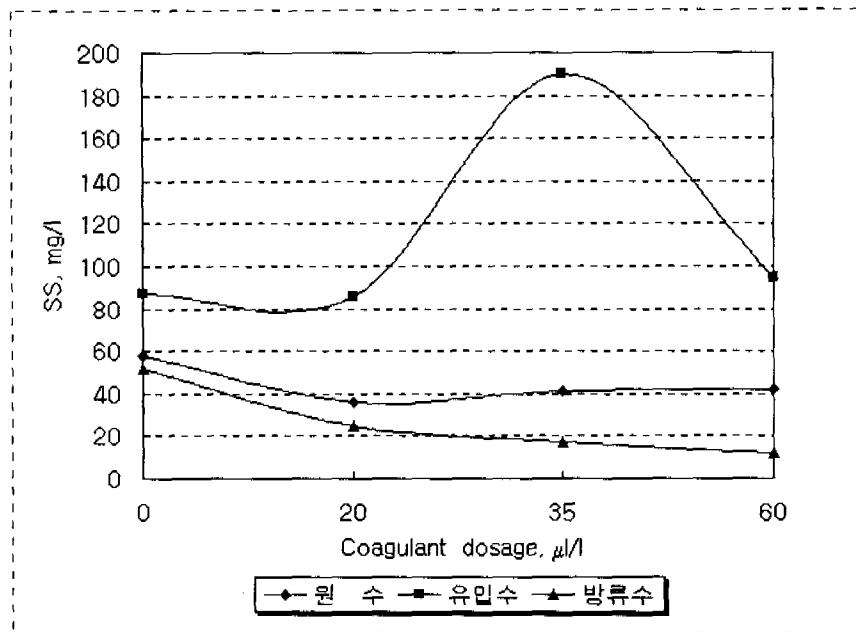


그림 3.5 응집제 주입농도변화에 따른 SS 변화

그림 3.6은 연속실험에서 응집제 주입 전·후의 원수, 유입수, 방류수의 SS농도 변화를 경시적으로 나타낸 것이다. 먼저 원수의 변화를 살펴보면, 거의 일정한 수치를 보여주지만 중간에 두 개의 피크가 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 강우에 의하여 토사류의 유입이 많아 일시적으로 원수의 수질이 악화된 것이었다. 원수와 반송수를 합한 유입수의 경우에는 원수의 변화보다 변동의 폭이 매우 심하다는 것을 알 수 있다. 이것은 장내 반송수가 유입수의 수질에 영향을 미치는지를 보여 주는 것으로, 1차 처리장에서는 안정적인 제거 효율을 얻기 위하여 반송수의 조절이 매우 중요한 요소가 됨을 실험적으로 보여준 것이라고 할 수 있다.

방류수의 변화를 살펴보면 응집제 주입전에는 유입수의 수질에 따라서 상당한 변화를 보여주면서 경우에 따라서는 원수보다는 높은 수치로 방류되고 있음을 볼 수 있다. 그러나, 응집제 주입 후에는 거의 유입수질의 변화에 관계없이 안정적으로 처리되었다. 따라서 화학적 고도화 기술을 적용함으로써 원수 및 유입수의 변동이 있더라도 안정적인 하수처리를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

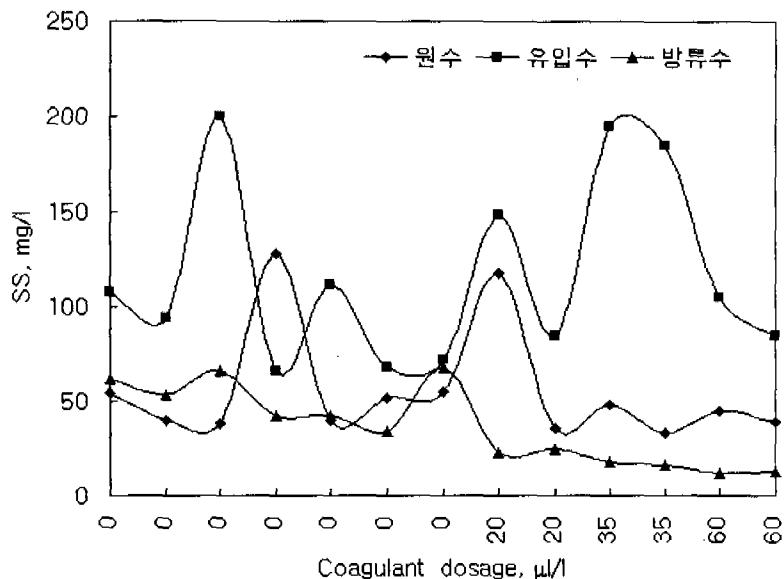


그림 3.6 응집제 주입 전 · 후의 SS 농도변화

연속실험기간 동안 유입수의 총 BOD중 입자상 BOD의 비율을 보면 평균적으로 75% 정도 이었으며 용존 BOD값은 $16\sim17 \text{ mg/l}$ 이었다. 그리고, 방류수중의 용존 BOD를 분석해 보면 $14\sim15 \text{ mg/l}$ 선으로 다소 낮게 나타났는데 이는 침전공정중에 일부 용존 BOD 성분이 제거되는 것을 의미한다. 따라서 입자상 유기물질만 충분히 제거해 주면 수질 기준인 20 mg/l 이하의 수질을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

그림 3.7은 현장연속실험에서 응집제 주입량에 따른 BOD제거율을 나타낸 것이다. 그림에 나타나 있듯이 응집제를 $60 \mu\text{l/l}$ 을 주입하였을 때 제거율이 기존 약 30%선에서 70%선으로 개선되면서 20 mg/l 이하의 수질을 얻을 수 있었다. 이는 용존 BOD의 분율이 75%인 것과 거의 일치하는 결과임을 알 수 있었다. 그러나 $35 \mu\text{l/l}$ 의 응집제를 주입하였을 때도 BOD 값은 상단수준으로 제거되는 것으로 나타났다.

COD의 변화경향은 BOD 변화와 완전히 일치하는 경향을 보여주고 있다(그림 3.8). 입자상 COD의 분율은 약 50% 선으로 개선되는 것과 일치하였다. 울산하수처리장 유기물 분석결과 특이한 것은 COD에 비하여 계속적으로 BOD가 훨씬 높은 수치를 보여 주고 있다는 점이며, 이로 볼 때, 유입 유기물중 방간으로는 쉽게 산화가 되지 않는 난분해성 유기물이 다량 함유되어 있음을 추정할 수 있으며 추후 면밀한 연구 검토가 필요할 것으로 사료된다.

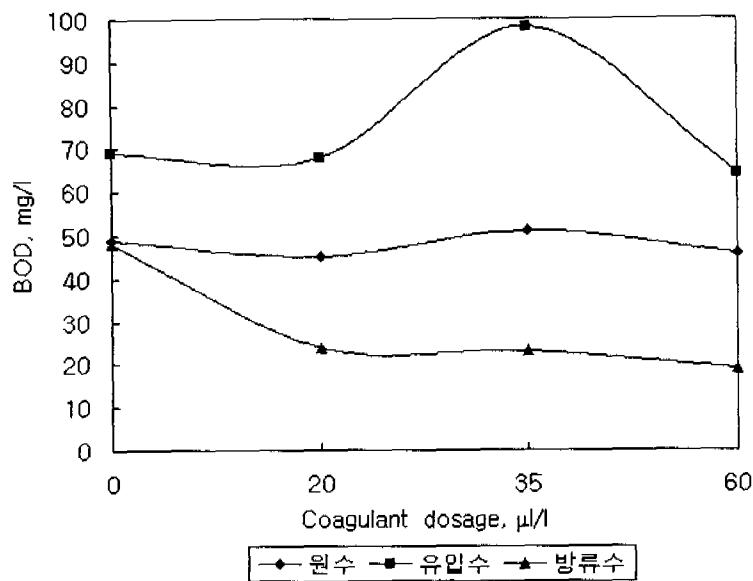


그림 3.7 응집제 주입에 의한 BOD 변화

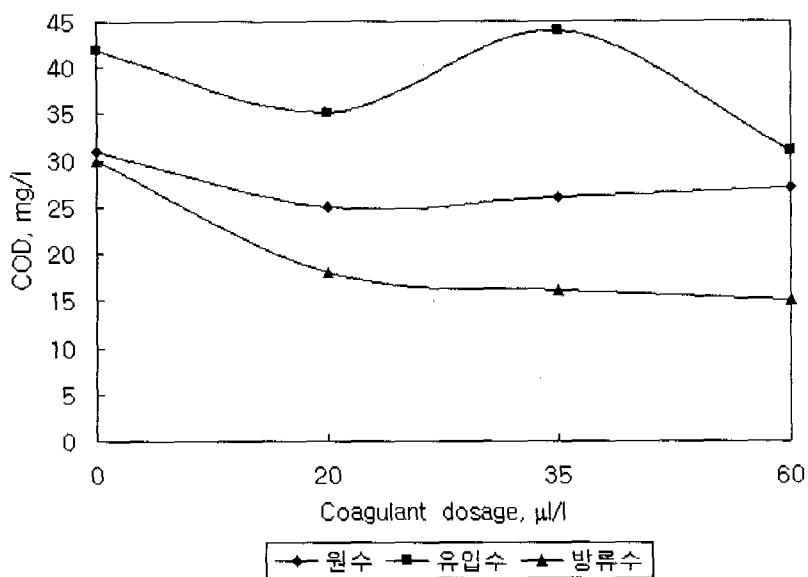


그림 3.8 응집제 주입에 의한 COD 변화

질소는 인과 더불어 부영양화 및 적조유발의 가장 중요한 제한 요소이며, 일반적으로 화학적 처리에 의하여 쉽게 제거할 수 있는 인(P)에 비하여 처리하기가 어려운 오염물질로써 일반적으로 사용되는 표준활성소나 공정에서도 잘 제거가 되지 않아 고도처리가 필수적인 오염물질이다.

웅집제 주입전 총질소의 경우 단지 3% 정도의 제거율만을 보여 주었으며, 반송수의 영향도 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 그럼 3.9에 나타난 것과 같이 웅집제의 주입에 의하여 제거율이 20~30% 정도 수준으로 개선되었다. 이와 같은 제거율의 향상은 유기성 질소가 웅집침전으로 제거된 것으로 생각되며, 향후 2차 처리시설의 증설시에 질소제거에 대한 제거대책을 마련하는 것이 필요하다고 판단된다.

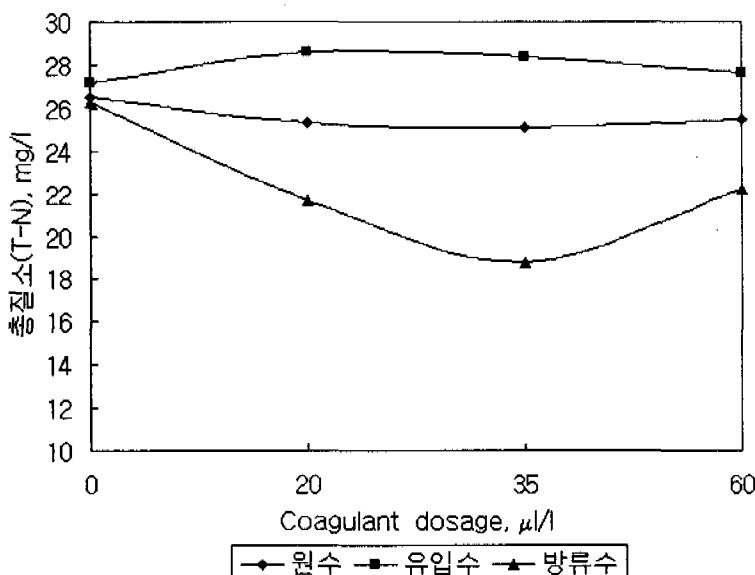


그림 3.9 웅집제 주입에 의한 T-N의 변화

수중에 인의 농도가 높으면 질소함량이 작다고 하더라도 공기 중으로부터 질소를 섭취하는 능력을 가진 조류의 과다번식으로 부영양화 및 적조를 유발하게 된다. 우리나라에서도 96년부터 방류수 8 mg/l 이하로 규제를 시작하였으나 현재 우리나라 하수처리장의 유입수종 총인 농도를 보면 대부분 2~4 ppm 수준으로 오히려 수질기준 이하로 유입되고 있는 실정이어 향후 선진국 수준인 2 ppm선으로 방류기준이 강화될 계획으로 있다. 울산 하수처리장에서는 평상시 평균 2~3 ppm으로 유입되어 침전 후 1.5~2 ppm수준으로 방류되고 있다.

그러나 웅집제를 현장에 주입하고 난 후, 현장에서 방류수질을 분석하여 본 결과 0.1 ppm이하가 검출되어 색-시험 결과와 거의 비슷한 수준으로 나타났다(그림 3.10). 특히 원수의 유입농도가 예비실험을 실시할 때의 평균에 못 미치는 크게 낮은 수준이었으나 반송

수내에 포함된 용존인에 의하여 유입수에서는 농도가 평상수질과 거의 동등한 수준으로 나타났다.

울산 하수처리장은 해양으로 하수가 방류되도록 하고 있으므로 화학적 고도화 기술을 적용함으로써 적조유발의 주요 세한 요소를 90% 이상 제거하여 특히 적조저감에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

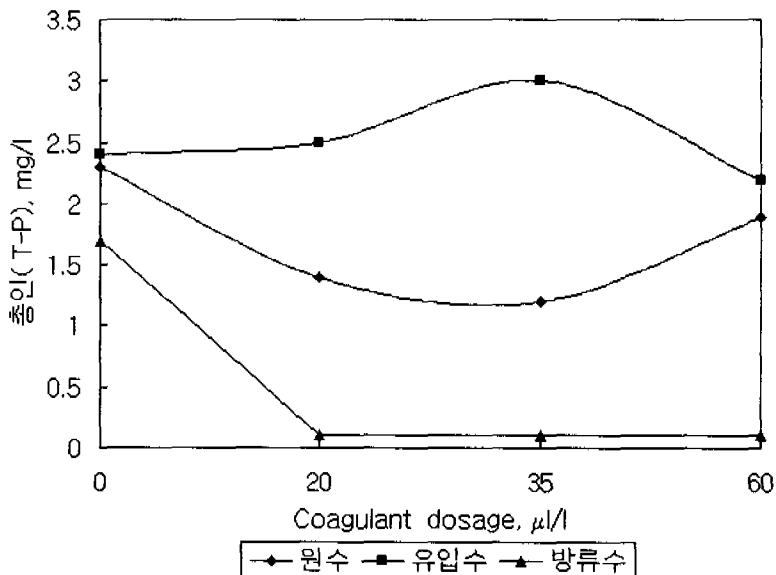


그림 3.10 응집제 주입에 의한 T-P의 제거

4. 경제성 검토

화학적 고도화 기술을 기준의 1차 처리 공정에 적용하면, 약품 비용 만큼 운전비용이 증가하게 된다. 그러나, 단편적으로 추가약품비용만을 가지고 경제성을 논하기는 어려운 것이다. 추가의 비용이 투입되는 반면에 오염물질의 제거효율이 그만큼 증대되는 것이다. 그러므로, 처리의 경제성은 오염물질의 제거량과 비용을 고려한 원단위 개념에서 검토되어야 한다.

본 연구에서 얻어진 응집제 주입량에 따른 각 물질별 제거효율을 정리하면 Table 4.1과 같다.

Table. 4.1 Effect of Hi-PAX on the Removal of SS, BOD, COD, T-P and T-N

Quantity	SS		BOD		COD		T-P		T-N	
	mg/l	R(%)								
0	52	40%	48	31%	29	29%	1.65	29%	26	3%
20ppm	25	71%	24	65%	18	49%	0.1	96%	22	24%
35ppm	17	91%	23	77%	116	64%	0.1	97%	19	34%
60ppm	12	87%	19	70%	15	52%	0.1	95%	22	20%

경제성 평가를 위한 기존 공정의 년간 운전비용은 울산하수처리장의 '96년 예산을 근거로 하였으며, 화학적처리시에는 약품비용을 추가하였고, 표준활성오니공정에는 인건비 및 전력료만을 설정을 고려하여 추가 계산하였다.

전력료의 경우 1차처리공정으로 운전되고 있는 울산하수처리장의 경우 하수 1톤당 6.67 원이 소요되고 있으나, 표준활성오니공정으로 운전되는 울산 회야 하수처리장의 경우에는 14.31원이 소요되어, 2차처리시설 운전에 하수 1톤당 약 7.14원정도의 전력비용이 추가 소요되는 것으로 나타났다. 이는 약 35 ppm의 Hi-PAX를 투입할 경우와 같은 비용으로, 생물학적 2차처리설의 증설 없이 2차시설 운전비용만으로도 2 차처리 수준의 처리수질을 얻을 수 있음을 보여주었다.

그러나 하수처리의 경제성은 기존에 주로 고려되고 있는 BOD 제거능력외에도 최근의 고도처리 추세는 질소, 인을 포함한 종합적인 오염물질의 제거능력으로 검토하여야 한다. 최근 질소, 인과 같은 영양물질의 제거까지를 포함한 종합 평가 방법으로 잠재산소소모량 (OCP)이 검토되고 있는데 OCP란 BOD의 분해에 필요한 산소요구량, 암보니아성질소의 산화에 요구되는 산소의 량, 질소와 인(P)의 존재로 2차적으로 발생하는 조류에 의한 오염을 처리하기 위하여 소모되는 산소량 등을 종체적으로 포함하는 것으로 다음과 같은 가정이 널리 이용되고 있다.¹⁾

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kg의 BOD} & \quad 1 \text{ kg의 산소소모} \\
 1 \text{ kg의 N} & \quad 4 \text{ kg의 산소소모} \\
 & \quad 14 \text{ kg의 2차적 산소소모} \\
 1 \text{ kg의 P} & \quad 100 \text{ kg의 2차적 산소소모}
 \end{aligned}$$

상기의 가정을 바탕으로 울산하수처리장의 경제성을 종합적으로 검토하면 Table 4.2와 같다. 이 표에 의하면 종합적인 오염인자를 고려할 때 기존공정은 전체 오염물의 15%정도 만 제거할 수 있으며 생물학적 처리는 39%, 그리고 화학적 처리는 50%내외를 처리할 수 있으며 단위 처리비용도 화학적 처리, 1차처리후 생물학적 처리, 기존 1 차 처리순으로 유리한 것으로 나타났다. 따라서 현재 울산하수처리장은 기존 1 차 침전시설을 화학적 처리로 전환시킨 후 후속으로 생물학적 처리공정을 설치하는 것이 기존 시설에 후속 생물학적 질소 및 인 제거를 포함한 시설로 전환하는 것 보다 매우 경제적이고 효율적인 방식이 될 수 있다. 그러나 본 연구에서 얻어진 결과는 현장 Pilot Plant 실험으로 후속 생물학적 처리실험을 병행한 후 실제 설계에 반영하여야 한다.

Table. 4.2. Economic Analysis of Unit OCP removal in Treatment
Alternatives unit :kg/day

Process	BOD	N	2nd N	2nd P	Total	Removal (%)	Unit cost/OCP 1kg
Present process	8,400	720	2,520	18,000	29,640	15	299
Chemical treatment (30ppm)	19,600	6,000	21,000	54,000	100,600	51	100
Chemical treatment (50ppm)	21,000	6,000	21,000	54,000	102,000	52	107
Biological treatment	25,200	7,200	25,200	18,000	75,600	39	138

* Raw Water: Based on BOD 140, N 30, P 3 for 200,000 ton/day
(Total incoming amount- OCP 196,000 kg/day)

5. 결 론

현행 수질기준을 만족시키지 못하는 울산하수처리장의 종장기적인 수질개선방안의 일환으로 화학적 고도화의 타당성을 원수 및 기준공정의 분석, 실험실 기초실험 및 현장적용 실험을 실시하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1 차 처리공정으로 운영되는 울산하수처리장의 현재 유입 BOD는 설계기준의 약 50% 수준으로 매우 낮고 70~80%정도가 입자상으로 유입되고 있으나 현재의 공정은 BOD, COD, SS기준 제거율이 약 30%-40% 수준에 머무르고 있다. 특히 부영양화를 유발하는 총인과 총질소에 대하여는 시험기간 동안 각각 30%, 3%로 매우 서조한 제거율을 보여 주었다.
- 기존시설의 변경을 최소화할 수 있는 응집제의 최적 주입지점은 강한 와류가 형성되고 있는 곳으로 펌프동 유입부가 가장 적합한 곳으로 나타났다. 응집제의 주입량은 수질에 따라 주입량을 달리하여야 하나 현장실험에서 30 - 50 $\mu\text{l/l}$ 정도로 생물학적 처리수준의 처리수를 얻을 수 있었다.
- 화학적 고도화 기술을 적용한 결과 SS는 약 80%~90%까지 제거율이 증대되었으며 BOD 와 COD의 경우는, 전체 유입 부하중 입자상 부하가 차지하는 비율과 거의 일치하는 각각 70%, 55% 정도의 제거율을 보여주어 제거율 기준 1차처리에 비하여 2 배정도 개선이 되었다. 또한 부영양화 유발물질인 총인과 총질소에 대하여는 각각 30%에서 90%로, 3%에서 25%로 큰 폭으로 개선되었다.
- 종합적인 오염인자인 OCP를 고려할 때 기준공정은 전체 오염물의 15%정도만 제거 할 수 있으며 생물학적 처리는 39%, 그리고 화학적 처리는 50%내외를 처리할 수 있다. 또한 OCP 1kg를 처리하는데 소요되는 난위처리비용은 기준 1차 처리공정의

33%, 1차처리후 생물학적 처리할 경우의 75% 수준으로 화학적 처리는 매우 경제적이라고 할 수 있다.

5. 울산 하수처리장은 기존 1 차 침전시설을 화학적 처리로 전환시킨 후 후속으로 생물학적 처리공정을 설치하는 것이 기존 시설에 후속 생물학적 질소 및 인 제거를 포함한 시설로 전환하는 것 보다 매우 경제적이고 효율적인 방법이 될 수 있다. 그러나 본 연구에서 얻어진 결과는 현장 Pilot Plant 실험으로 후속 생물학적 처리실험을 병행한 후 실제 설계에 반영하여야 한다.

* 감사의 글

본 연구는 (주)경기화학의 지원에 의해서 수행되었으며, 실험 기간동안 도움을 주신 울산시 환경사업소의 협조에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. H. Ødegaard and I. Karsson, Chemical Wastewater Treatment - Value for Money, 1994
2. 곽종운, “무기용집제(Hi-PAX)에 의한 화학적 하수처리 공정의 국내적용에 관한 연구”, 하수도심포지움, p87-107, 1994.
3. 박 홍석, 곽 종운, 석 정일, 1 차 침전법 하수처리장의 화학적 처리에 의한 개선, 하수도 제 36회 심포지움, 하수도협회, 1996
4. U. Nyberg, B. Anderson, H. Aspegren, and H. Ødegaard, The Use of Polymer in the Pre-precipitation Step of a Wastewater Treatment System for Extended Nutrient Removal, in Chemical Water and Wastewater Treatment III, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1994.
5. 환경부, 95 하수도 통계
6. 윤주환, 우리나라 수질환경기초시설: 개요, 환경기술·정책연구소 심포지움 발표 논문집, 1995
7. Y. J. shao, Anmin Liu, Frank Wada, John Crosse and David Jenkins, Advanced Primary Treatment: An Alternative to Biological Secondary Treatment. The City of Los Angeles HYPERION Treatment Plant Experience, Wat. Sci. Tech. 34(3-4), pp 223 – 233, 1996
8. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, Metcalf & Eddy 3rd Ed,
9. 宗宮 功, 金 東夏, 고도하수처리법의 처리효율과 경제성 평가, 대한상하수도 학회지,
7. Ingemar Karlsson and Gunnar Smith, “Pre-Precipitation Facilitates Nitrogen Removal without Tank Expansion”, Wat. Sci. Tech., Vol 23, Kyoto, pp.811~817, 1991.
8. Hahn, H., Chemical Treatment. In: Chemical Water and Wastewater Treatment, H. Hahn and R.Klute, Berlin, Springer-Verlag, 1990.

9. Henze, and Ødegaard, An Analysis of Wastewater Treatment Strategies for Eastern and Central Europe, Waste Science and Technology, 1994.
10. Kermiral Kemi:Handbook on Water Treatment, Helsingborg, Sweden, 1993.
11. Hahn, H, Chemical Treatment, In:Chemical Water and Wastewater Treatment. Proceedings of the Fourth Gothenburg Symposium. ed. H.Hahn and R.Klute. Berlin, Springer-Verlag, 1990.
12. Heike, G. and Tay, J. A. and Qazi, M. Effect of Chemical Addition on the Performance of Setting Tanks, Journal of the Water Pollution Control Federation, 52(12), 1990.
13. Morrissey, S. and Harleman, D., Retrofitting Conventional Primary Treatment plant for Chemically Enhanced Primary Treatment in the USA, In: Chemical Water and Wastewater Treatment II. Proceedings of the Fifth Gothenburg Sumposium. ed. H. Hahn and R. Klute, Berlin, Springer-Verlag, 1992.