

기술자문사례

폐수처리 최적제어 시스템 개선



전자거래대표준과 공업연구원 박인수
02)509-7405 ispark@ats.go.kr

□ 서론

도시하수처리장의 폐수처리 탈수공정에 사용되는 환경설비를 생산하는 신청업체가 2년여 동안 심혈을 기울여 개발한 폐수처리 탈수공정 제어시스템에 대하여 신기술 인증(NT)을 신청하였다

그동안 고가로 수입하던 폐수처리 제어 시스템을 국산화하기 위해 오랜 동안 심혈을 기울여 온 신청업체는 대표자의 아이디어로 기존시스템에 비하여 간단하면서도 효율성을 높일 수 있는 전혀 새로운 방법을 고안하여 2억 여원의 개발비를 투자하여 정부 출연연구소와 공동으로 개발한 제품이었다

대부분의 신개발 제품들이 판매 초기에 품질과 성능면에서 안정성을 확보하는데 어려움이 따르듯이 신청제품도 신기술 인증을 위한 시험평가중에 많은 문제점을 노출하였다. 당시 신기술 인증 평가 위원회에서는 신청기술이 수입대체 효과가 크고 우리나라 환경설비의 성능향상을 위하여 필요한 기술임을 인정하고 개발제품의 안정성을 확보할 수 있는 기술지도를 수행한 후 인증여부를 판단하기로 결정함에 따라 위원회에서 기술지도를 실시하게 되었다.

□ 신청내용

○ 하수처리장에 유입되는 폐수는 매우 다양하며 유

입폐수의 종류 및 농도에 따라 응집제의 투입을 최적상태로 자동운전할 수 있는 제어 알고리즘 개선

- 응집제가 부족한 경우 : 유입 슬러지의 응집이 이루어지지 않아 탈수성능 저하(정상상태 복귀에 많은 시간 소요)
- 응집제가 과다한 경우 : 고가의 플러머 응집제 낭비

○ 운전시작시 초기 응집특성이 맞지 않아 안정화까지의 시간이 30분 이상 소요되어 응집효율성이 떨어지는 문제점 해결 방안

○ 자동 운전으로 장시간 운전시 제어불능 현상 해결방안

□ 기술지도내용

1. 초기 운전시 안정화 알고리즘 개선

○ 시스템 분석

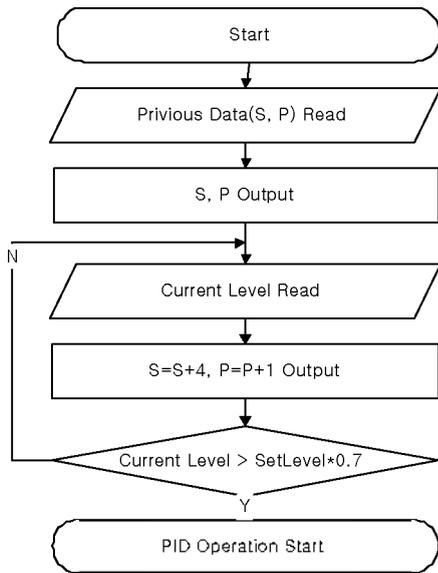
기존제품의 경우 운전 초기시부터 슬러지 펌프의 PID 제어가 시작됨으로써 설정(목표) 수위에 도달될 때까지 슬러지 유입이 최대가 되어 폐수 처리의 응집특성이 나빠지게 되면서 30분간 이상의 초기 안정화 시간이 소요, 처리 효율을 저감시키고 있었다.

○ 개선방안

폐수처리 시스템의 중요한 제어항목중의 하나는

유입하는 슬러지와 투여하는 응집제의 비율로써 응집 특성이 최대로 유지될 수 있도록 제어해야함으로 초기운전시부터 슬러지/플리머(S/P) 비율을 유지할 수 있도록 이전까지 안정적으로 운영되었던 데이터를 다음 운전 시작시의 설정값으로 활용함으로써 최적의 응집특성을 유지하면서 최대한 빠르게 목표수위의 안정점에 도달될 수 있도록 처리알고리즘을 개선하였다.

○ 처리 알고리즘



○ 개선효과

초기 운전 알고리즘을 개선하여 현장 시스템에 적용함으로써 초기 운전에서부터 제어 안정화까지의 시간을 기존의 30분 이상 소요에서 5분 이내로 단축시킴으로써 전반적인 폐수처리 효율을 향상시켰다.

2. Auto Tuning 기능 구현

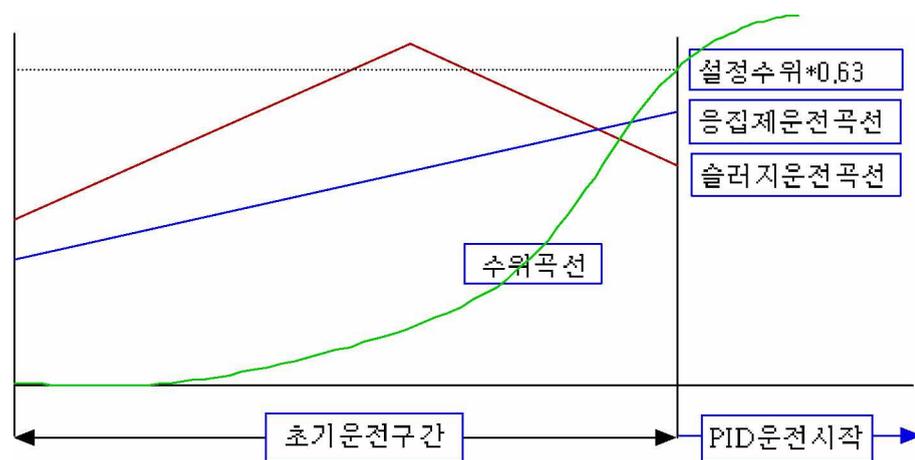
○ 시스템 분석

PID 제어 시스템의 PID 파라미터를 실제 운영중인 폐수 처리 시스템의 응답특성을 고려하지 않고 경험적인 값에 의존하여 설정함으로써 시스템 불안정을 초래하고 있음

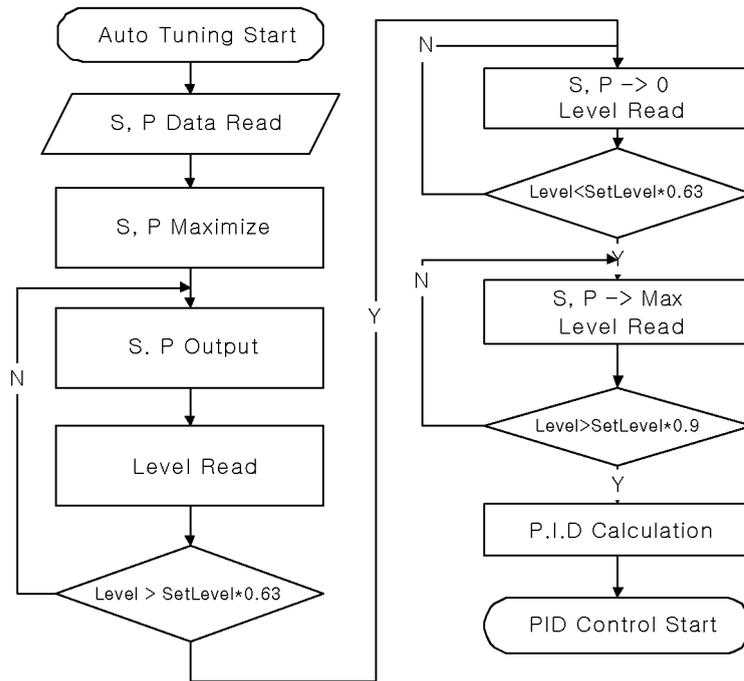
○ 개선방안

폐수처리시스템의 정확한 응답 특성을 Step Response Method를 이용, P, I, D 파라미터를 구한 후 이 값을 PID제어기의 계수로 설정하여 운전함으로써 각 현장마다 서로 다른 제어 시스템의 특성 변화에 적절하게 대응, 안정된 제어가 유지되도록 개선하였다.

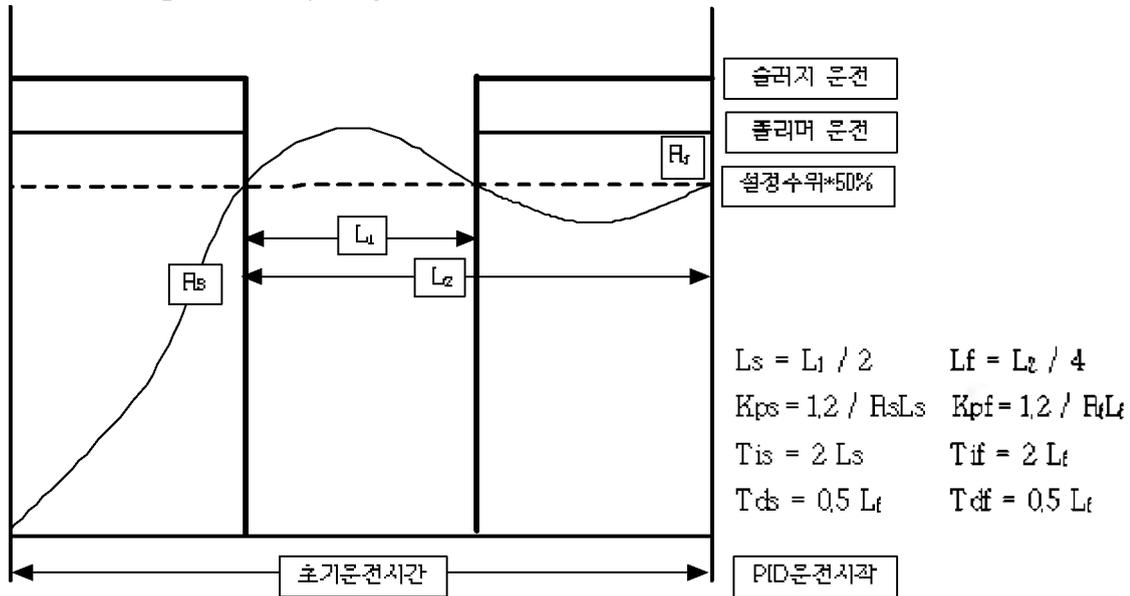
○ 초기 운전 그래프



○ 처리 알고리즘



○ Auto Tuning 그래프 (Step Response Method)



일반적으로 2가지 방법에 의해 PID파라미터를 구하고 있으나 이번 기술지도에서는 안정시의 PID 파라미터를 적용하였다.

3. PID 알고리즘 구현

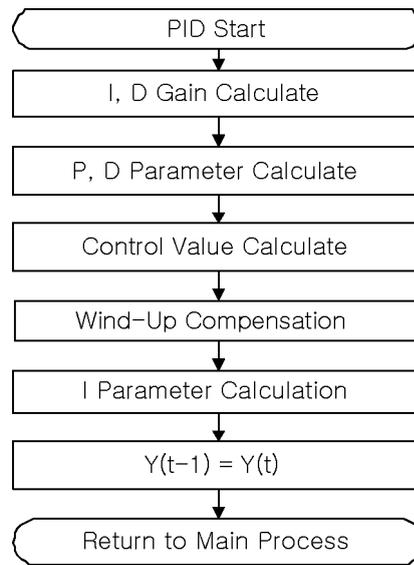
○ 시스템 분석

기존 시스템의 PID 알고리즘은 알고리즘 자체에는 문제가 없었으나 PID 파라미터 설정이 시스템 응답 특성을 고려하지 않은 채 경험적인 임의의 값으로 설정 운영함으로써 시스템 불안정을 초래하고 있었다.

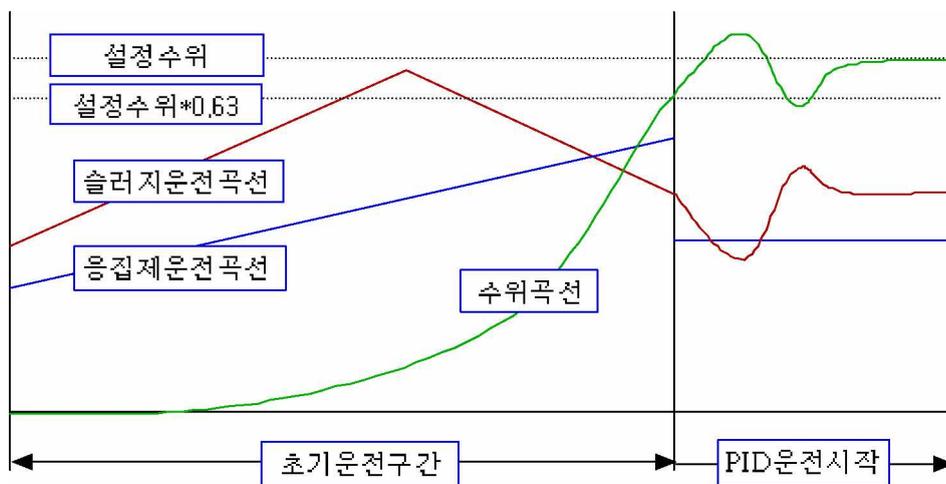
○ 개선방안

Auto Tuning 기술을 적용하여 자동으로 시스템 특성에 적절한 PID파라미터를 설정할 수 있게함으로써 시스템의 불안정 없이 안정된 제어가 유지될 수 있도록 개선하였다.

○ PID 알고리즘



○ PID 운전 그래프



4. 음집제 최적자동운전(Polymer Auto Mode)

○ 시스템 분석

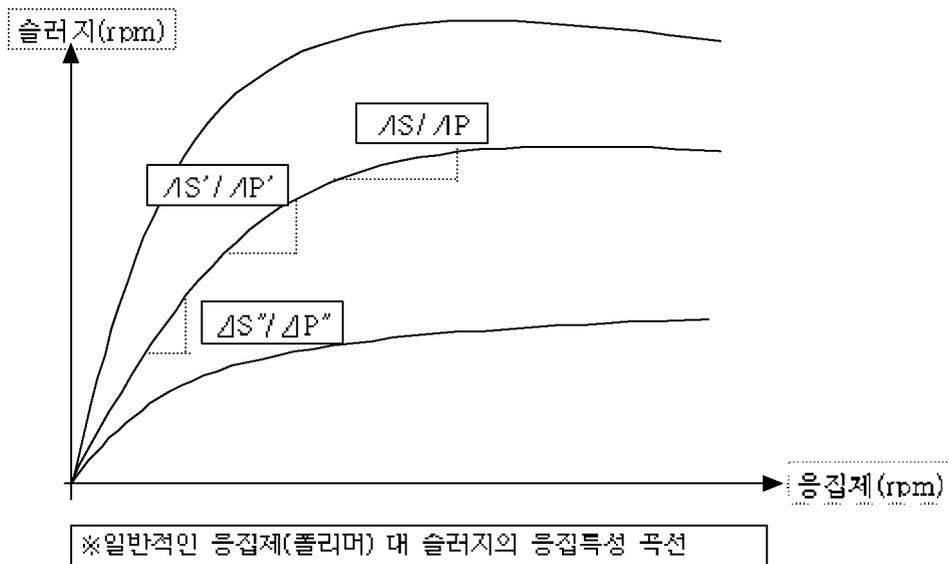
기존 시스템은 Polymer 자동 운전 모드에서 슬러지/폴리머(S/P)비에 의한 최적 조건을 유지할 수 있도록 설계되어 있으나 장시간 운전할 경우 제어오차가 누적되면서 음집제가 0상태가 되어 운전 불능 상태를 초래하는 현상이 발생되고 있었다.

이러한 원인으로서는 제어 알고리즘이 폴리머와 슬러지의 증가량의 비, 즉 $\Delta S/\Delta P$ 의 변화량을 제어하지 못하고 단지 S/P값의 변화를 제어하고 있기 때문이 아닌가 판단되지만 기존 시스템의 정확한 알고리즘을 알 수가 없었다. 이러한 불명확한 제어 프로세서가 결국 오차를 증가시켜 운전 불능 상태를 초래하는 것으로 판단되었다.

○ 개선방안

본 기술지도에서는 폐수 처리의 수율 운전이 가능하도록 $\Delta S/\Delta P$ 의 변화량을 적분 평균하여 폴리머 제어에 활용하였다. 폐수 처리 시스템의 일반적인 운전 특성 곡선은 그림에서와 같이 폐수 종류 및 농도, 시스템의 성능 및 응답성 등에 따라 다양하게 변화되며 이러한 변화 환경에서 단지 $\Delta S/\Delta P$ 만의 제어로 목적하는 수율 운전은 어려울 것으로 생각된다.

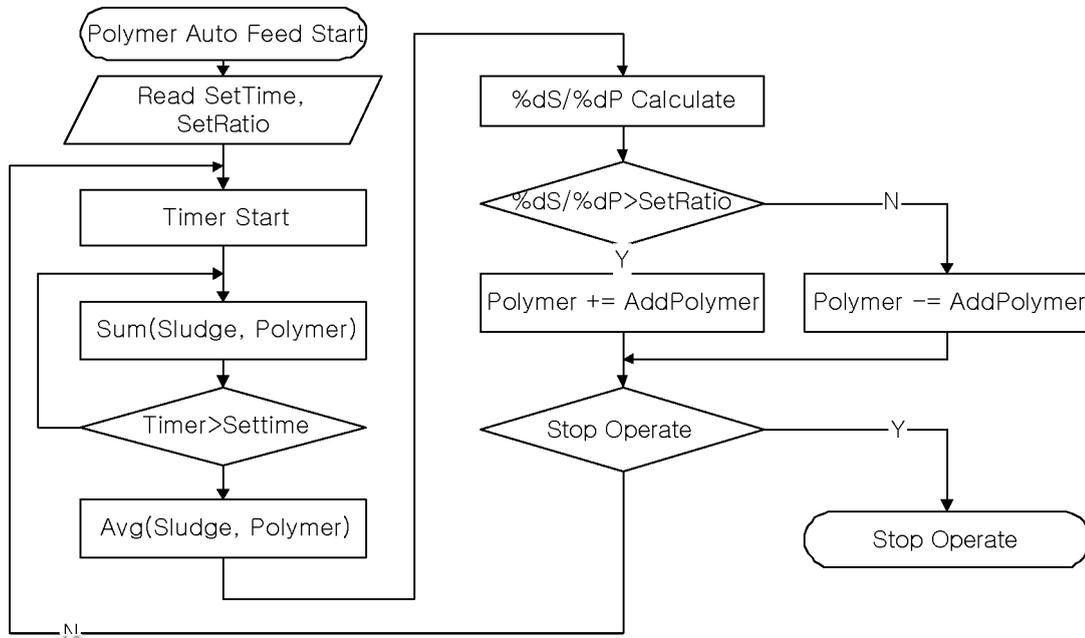
따라서 설정한 적분 시간 (min)별로 $\Delta S/\Delta P$ 의 %변화율을 계산하여 설정한 수율을 자동 유지할 수 있도록 설계하였다. 즉 폴리머의 효율은 떨어지지만 폐수의 처리량을 많게 하기 위해서는 $\Delta S/\Delta P$ 가 0에 가까워 지도록 설정하며, 슬러지 처리량은 감소되지만 값비싼 음집제의 효율을 높이기 위해서는 $\Delta S/\Delta P$ 에 의해 적정한 값(50~200)을 설정하게 함으로써 운전 안정성을 개선하였다.



즉, 폐수 처리량은 $\Delta S/\Delta P > \Delta S'/\Delta P' > \Delta S''/\Delta P''$ 순서이며 폴리머의 효율성은 $\Delta S/\Delta P < \Delta S'/\Delta P' < \Delta S''/\Delta P''$ 순서가 된다.

이러한 처리 알고리즘을 바탕으로 폐수 처리량과 폴리머의 효율성을 기준으로 하는 최적 운전이 가능하도록 지도하였다.

○ 응집제 자동운전 알고리즘



5. 동시 제어 기능 구현

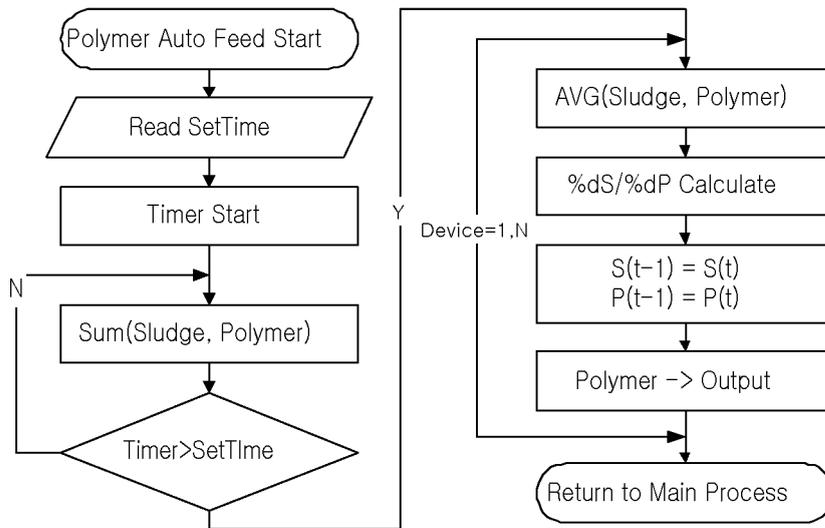
○ 시스템 분석

기존 시스템에서도 동시 3대까지의 탈수기를 운전하기 위한 PID제어기능이 갖추어 있으나 자동운전 모드에서 각각의 장치(폐수 처리용 탈수기)별로 폴리머 연산 및 제어가 동시에 이루어지지 못하고 불규칙하게 운전되어 제어 시스템의 안정성이 떨어지는 현상을 초래하고 있었다.

○ 개선내용

설정된 폴리머 적분 시간을 주기로 4대 또는 그 이상의 폐수 처리 시스템(탈수기)을 동시 제어가 가능하도록 설계하여 폴리머 공급 제어의 효율성 및 안정성을 향상시켰다.

○ 동시 제어 알고리즘



□ 기술지도결과

일반적으로 산업용 제어 시스템에 가장 널리 이용되고 있는 PID 제어 기술을 폐수 처리 제어 시스템에 적용하여 슬러지의 상태에 따라 응집제 약품이 최적의 공급상태를 안정적으로 유지 시키는 제어 목표를 성공적으로 개선하였다.

기존 시스템에 비하여 초기 운전 안정화 시간이 약 30분 이상 소요되는 것을 약 5분 정도로 단축, 폐수 처리 성능을 향상시키고, 응집제 자동 공급 알고리즘을 개선하였으며, PID 제어 시스템에서 가장 중요한 P,I,D 파라미터 설정을 Auto-Tuning 기술을 도입하

여 시스템 응답특성에 맞게 설정함으로써 경험적 설정 방법에 비하여 제어 안정성을 확보함으로써 기존 수동운전에 비하여 20~30% 정도의 응집제 사용량을 절감 시켰다.

기술지도후 개발제품을 보완하여 안정성을 확보함에 따라, 자칫 그동안 신청업체의 연구개발 노력이 헛되이 사장될 수 있었던 기술이 지도후 국산화에 성공함으로써, 신기술인증 취득은 물론 현재까지 약 10억원의 매출을 기록하고 있고 향후 우리나라의 전 폐수 처리장에 확산될 기반을 확보하게 되었다.

