

# S/W 알고리즘을 이용한 정수장 배출수 공정 자동화 방안

이호현 책임위원, 신강욱 수석연구원 / K-water 융합연구원  
김종립 차장, 홍성택 책임연구원  
kiwe.kwater.or.kr

## 1. 서론

배출수 슬러지는 원수로부터 바람직하지 못한 성분을 제거하는 많은 공정에 의해서 발생된다. 하·폐수처리장 슬러지의 처리·처분에 대해서는 많은 연구가 진행되어 왔으나, 정수장에서 발생하는 슬러지의 처리 처분에 대해서는 많은 환경적인 문제를 안고 있음에도 불구하고 상대적으로 관심을 갖지 못하고 있는 상황이다. 하지만 정부의 배출수 시설에 대한 관심과 수질관리기준의 강화로 더 이상 간과할 수 없게 되었다.

국내에서 운영되고 있는 대부분의 정수장 배출수 처리시설은 24시간 연속적으로 운전하도록 설계되었으나 다양한 이유로 인하여 현장제어, 원격감시 형태로 주간, 주중에만 운영하고 있는 곳이 대부분이며 이러한 운전 형태는 수자원공사 및 주요 지자체가 유사하다. 이러한 운전 방식은 배출수 단위공정에서 부분적 자동(주로 수위연동) 운전으로 운영되고 있다. 또한 방류수 수질 강화에 따라 SS(Suspended Solid) 농도 20mg/L에서

10mg/L로 대폭 강화되었으며, 슬러지의 장기 체류에 따라 발생하는 망간 및 클로로포름 등이 문제시 되고 있는 실정이다.

또한, 각 사업장에 따라 제조사별로 상이한 제어로직 프로그램을 범용 프로그래밍 언어로 정수장에 공통으로 적용 가능한 어플리케이션 모듈로 개발함으로써 배출수 공정 고도화 및 물시장 개방화에 따른 IT 분야 경쟁력을 강화하여 과학적인 공정 운영으로 방류수 수질의 안정화 및 운영 효율 향상하고자 본 과제를 수행하였다. 상하수도 공정감시제어용 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 시스템을 살펴보면, 40여 개의 정수장에 9개사 감시제어설비(DCS, PLC)에 탑재되어 있다. SCADA에 탑재된 제어로직은 제조사별 종속적이고 정수장 환경에 따라 개별적으로 구성되어 있으며, 사용 언어 또한 상이하여 호환성이 없고, 전문 개발자만이 프로그램 구현 및 변경이 가능함으로써 고비용이 소요되고 있는 실정이다. 이런 문제로 인하여 자동화 프로그램에 오류 발생 시 자체 문제해결이 어렵고, 현

## S/W 알고리즘을 이용한 정수장 배출수 공정 자동화 방안

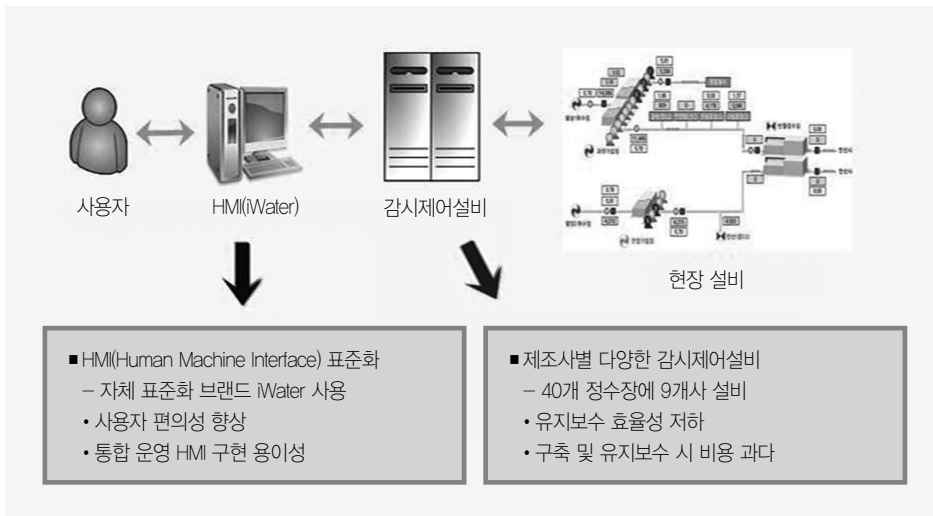


그림 1. 제어로직 구현 위치 비교

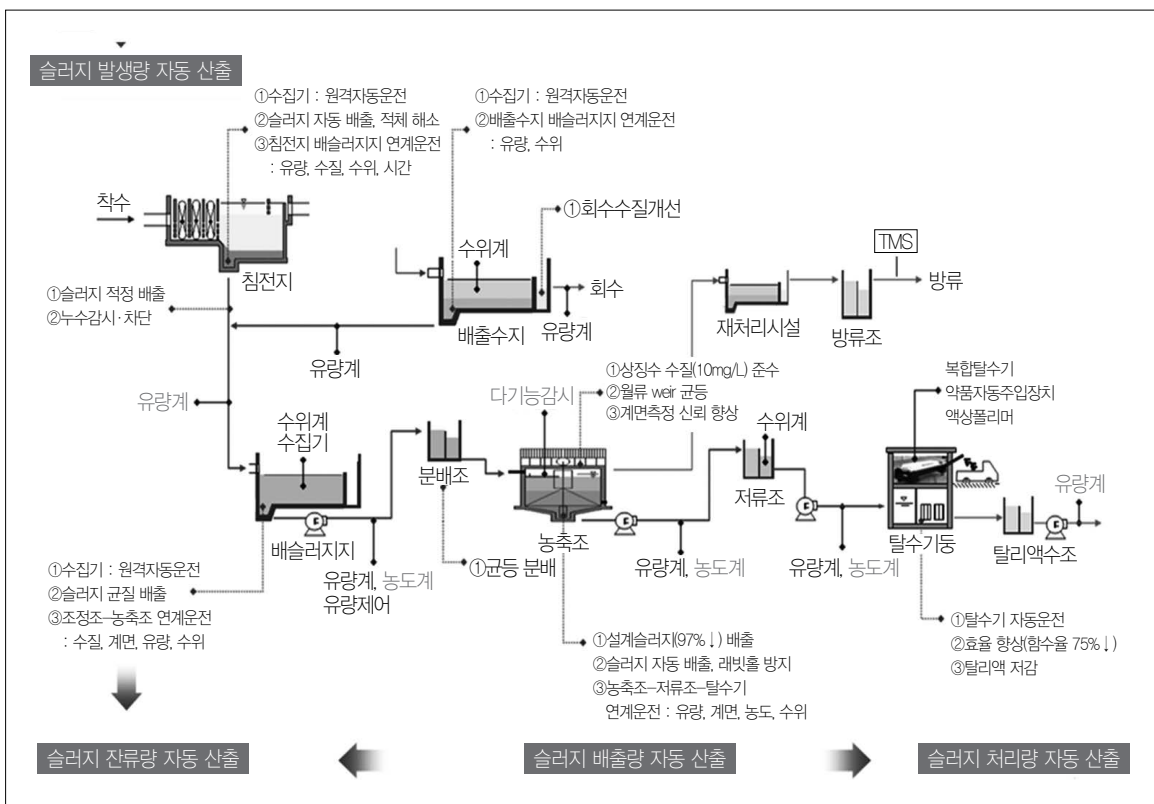


그림 2. 정수장 배출수 공정 운영 흐름도

## 환경측정 동향과 정수장의 효율적 관리

장마다 상이한 SCADA 사용으로 기술력 축적의 한계가 있다. 따라서, 그림 1에서와 같이 감시제어설비가 아닌 별도의 HMI(Human Machine Interface)와 연계한 S/W 제어로직 구현으로 제조사 종속성을 탈피하고, 표준화된 로직을 구현이 시급한 상황이다.

된다. 배출수 공정 운영은 낮은 자동화 수준, 운영 인력에 의한 수동운전으로 이를 체계적이고 과학적인 연구를 통하여 정수처리공정을 효율적으로 운영할 수 있도록 설비 개선 및 S/W 로직을 구현하였다. 그림 2는 일반적으로 운영되는 정수장 배출수 공정운영 흐름도이며, 각 공정 연계자동운전을 위한 모식도이다.

### 2. 본 론

일반적으로 배출수 처리공정은 정수처리공정으로부터 침전 또는 여과 슬러지가 유입되며 회수·조정·농축·탈수 및 처분의 단계로 구분된다. 최초 침전에서 슬러지가 배출되어 도착되는 조정시설(배슬러지, 배출수지), 농축시설(농축조, 저류조) 및 탈수시설로 구성

#### 1) 공정 운영 효율화를 위한 설비개선

배출수 공정에서 처음 슬러지가 발생하는 침전지는 배출수 전 계통 부하에 가장 큰 영향을 미친다. 따라서, 부하 절감을 위해 기존 Butterfly에서 유압식 Ball V/V 로 개선하여 슬러지 발생량을 대폭 절감하였다. 조정조(배슬러지)는 침전에서 유출된 슬러지를 처리하며, 기존에는 슬러지의 오랜 적체로 인한 혐기화로 특정수

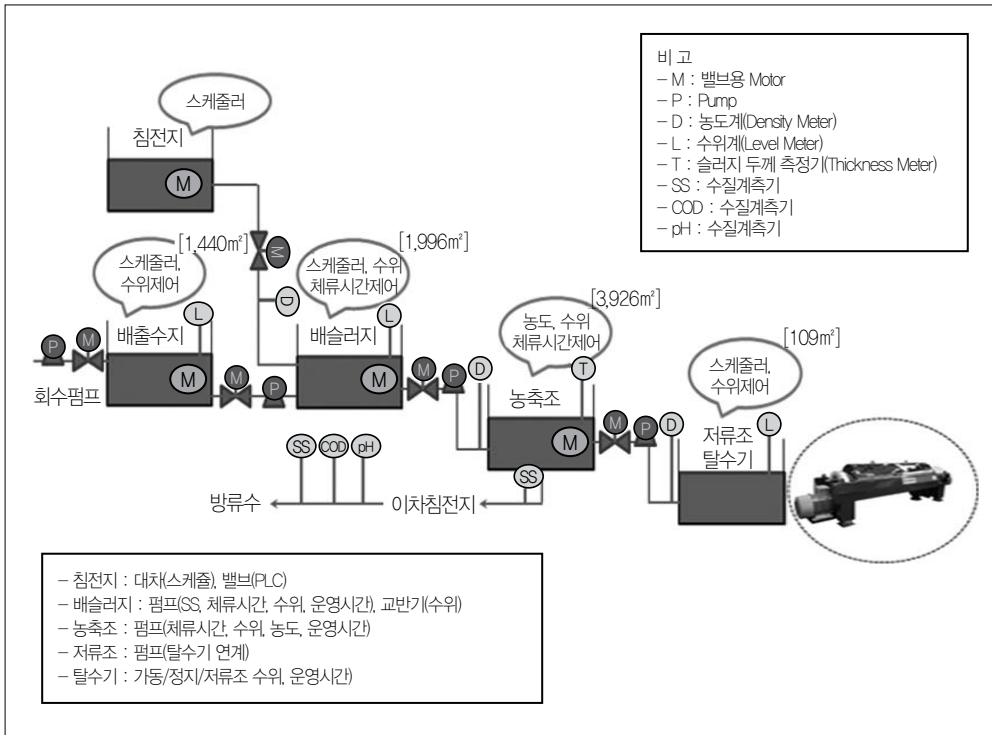


그림 3. 배출수 연속/연동운전 제어방안

## S/W 알고리즘을 이용한 정수장 배출수 공정 자동화 방안



그림 4. 배출수 공정 실시간 물질수지 분석을 위한 메인 화면



그림 5. 침전공정 제어화면 구성화면

질 유해물질이 발생하였다. 이를 개선코자 산기관 형식의 Air Blower를 설치하여 혐기화를 방지하였다. 농축조는 배슬러지에 유입되며, 슬러지와 탈수기 탈리여액이 인입되었으며, Overflow 된 물이 하천으로 방류되고, 조 하부에 정체된 슬러지는 저류조로 이송된다. 탈리여액에 의한 농축조 교란현상 방지를 위하여 조정조로 배관을 이설하여 방류타도 상승을 억제하였고, 장기간 정체에 따른 망간/클로로포름 문제를 해결코자 체류시간을 72시간 내로 제한하여 운영토록 하였다. 저류조와 탈수기는 원심탈수기를 도입하여 함수율은 다소 높아질 수 있으나, 설비 단순화를 통한 자동화에 유리하도록 하였다.

### 2) 배출수 공정 자동화 제어화면 구성

그림 3에서는 배출수 공정 24시간 연속/연동을 위한 공정별 운영 방안을 기술하였다. 배출수 공정은 지속적으로 발생하는 슬러지를 실시간으로 처리해야 하며, 이를 위해서는 각 지별 수위가 너무 낮게 혹은 높게 유지하지 않도록 슬러지 이송펌프 및 밸브 제어가 필요하다. 이를 위해서 공정별 스케줄러 및 수위제어를 기본으로 배출수 연속/연동운전을 소프트웨어로 구현하였다.

#### • 메인 구성화면

배출수 단위공정에 대한 종합 감시화면으로 각 공정의 설비운영 상황을 표시하고, 공정별 슬러지 양과 고�형물 양을 표시하여 적체구간을 알 수 있도록 하였다. 또한 상단에는 알람 및 제어상황 발생 시 이벤트가 발생하여 근무자가 용이하게 인지 가능하도록 개발하였다.

#### • 침전지 구성화면

침전공정은 슬러지 수집기를 스케줄에 따라 제어하는 공정으로 입력된 시간에 대차가 자동으로 가동되게 되며, 이때 슬러지 인발밸브 연동운전과 조정조 수위에 따른 인발밸브 차단 등에 대해서는 PLC 로직을 이용하여 운영토록 하였다.

#### • 회수조 구성화면

회수(배출수지)조는 회수펌프 자동제어를 위하여 기존 PLC 로직에서 운영 중이던 수위에 따른 대수운전을 제어화면에 구성하였으며, 추가적으로 펌프 막힘 판단 및 호기별 우선순위를 설정하여 제어하도록 하였다. 슬러지 이송펌프는 수동운전 중이며, 밸브와 연동운전이 구성되어 있지 않았고, 슬러지 계면계가 설치되지 않아

## 환경측정 동향과 정수장의 효율적 관리

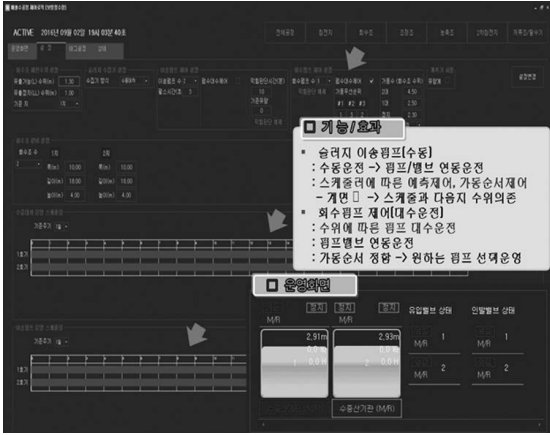


그림 6. 회수공정 제어로직 구성화면



그림 7. 조정조 제어로직 구성화면

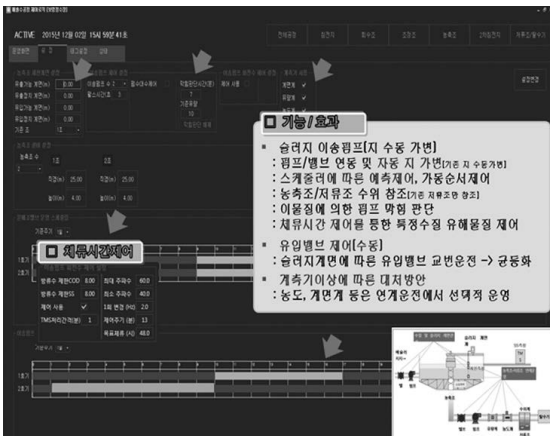


그림 8. 농축조 제어로직 구성화면

계면에 따른 제어가 불가하여 제어로직에서 스케줄링에 의한 제어만 가능하도록 하였다.

### • 조정지 구성화면

조정지(배슬러지)는 유입밸브는 침전슬러지 유입에 따른 수위 상승 시 Overflow 방지를 위하여 High High 수위 알람과 연동하여 유입밸브를 차단하고, High 수위로 저하되면 밸브가 자동으로 Open 되도록 하였다. 기존 PLC 시퀀스에서는 High High 발생 시 Valve Close 신호만 연계되어 있었다. 슬러지 이송펌프 제어는 연동되지 않은 펌프와 밸브를 연동운전 가능토록 하였으며, 조정지 목표체류시간인 24시간 내 슬러지 배제를 위하여 슬러지 이송펌프 회전수 제어를 하였다. 또한 방류수 수질 안정화를 위하여 COD와 SS 목표 농도 초과 시 이송펌프 운전을 단계적으로 Off 하도록 구성하였다. 산기관은 당초 이송펌프와 연동하여 이송펌프 가동 시에만 동작하도록 시퀀스를 구성하였으나 망간농도가 높아 상시 운전하고 있으며, 산기관 운영을 위하여 최소 1m 이상의 수위를 유지하여야만 한다.

### • 농축조 구성화면

농축과정에서는 슬러지 이송펌프와 유입밸브를 제어하고 있다. 슬러지 이송펌프는 농축조에 쌓인 계면높이를 파악하고, 최소 수위 이상인 경우와 저류조 최대 수위 이하인 경우 수위 조건이 만족하게 되며, 이와 더불어 스케줄링에 따른 해당 펌프와 선택된 밸브를 제어토록 하였다. 유입밸브는 농축조 계면수위 High High 도달 시 Valve를 Full Close 가능하도록 구성되어 있다. 이때 탈수기 및 조정조 이송펌프 등이 농축조 수위 등과 연동되어 원활하게 작동되어야만 농축 분배조의 Overflow 발생이 되지 않을 것으로 사료된다. 또한 농축조에 사용되는 농도, 계면계 등은 계측기의 신뢰성이 저하될 수 있으므로 선택 배제 가능토록 구축하였다.



## S/W 알고리즘을 이용한 정수장 배출수 공정 자동화 방안



그림 9. 2차 침전지 제어로직 구성화면



그림 10. 탈수공정 제어로직 구성화면



그림 11. 공정별 설비운영 가능 여부 상태화면 구성



그림 12. 태그 기반 연계 운영 구성화면

### • 2차 침전공정 구성화면

2차 침전공정은 진공흡입식 수집기로 주 1회 정도 가동하고 있으며, 전진 명령과 후진 명령을 약 30분 주기로 따로 내리고 있었다. 이를 제어로직에 개선 반영하여 요일과 스케줄 도래된 수집기를 가동하고, 전진 명령을 수행한 후 후진 명령을 자동으로 수행토록 하였다.

### • 탈수공정 구성화면

탈수기는 기존 벨트프레스의 노후 및 복잡성으로 원

심탈수기로 교체하였다. 탈수기는 저류조 수위, 폴리머 탱크수위, 호퍼 중량 등과 스케줄러가 연계하여 운전이 가능하도록 구현하였다. 원심탈수기는 기동 및 정지 시 일정 시간이 필요함에 따라 이를 고려한 로직 설계가 필요하다.

### • 상태화면

제어로직 화면은 상태화면을 두어 자동운전 가능 여부를 판단할 수 있도록 하였다. 이를 통해 현재 자동운

전이 어떠한 원인으로 운영되지 않는지를 확인 및 조치할 수 있도록 하였다. 또한, 태그 설정을 통하여 타 사업장에도 손쉽게 적용 가능하도록 구성하였다.

### 3) 데이터 분석을 통한 수질 안정화 방안

강화된 방류수 수질기준으로 인하여 SS 및 망간/클로로포름 관리가 중요하다. 표 1에서는 지표 관리의 어려움을 겪고 있는 SS에 대한 데이터 분석을 통해 원인 인자를 분석한 결과이다. 분석 결과 정수처리를 위해 사용되는 활성탄 투입에 따른 SS 상승요인이 크며, 농축조/조정조의 농도도 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 농축조 충격부하에 따른 SS 상승은 운영자들이 이를 사전에 인지하여 적정량을 농축조에 공급하고 있어 데이터 상에는 나타나지 않았다.

방류수 SS 회귀분석 결과는 표 2와 같이 다중상관계수가 0.77의 신뢰성을 확보하고 있다. 이를 통해 방류수 수질에 대한 사전 모델링 구성으로 수질을 예측하여 방류수질 안정화에 기여하리라 사료된다. 또한 방류수 SS, COD의 실시간 계측값을 받아 농축조에 유입되는 슬러지를 제어하여 하천에 방류되지 않는 조치 등을 취

하였다.

담 원수를 사용하고 있는 많은 정수장들이 배출수 망간 문제로 어려움을 겪고 있다. 망간은 계측하기 까다로운 항목으로 수질관리자가 간헐적으로 측정된 자료를 통해 분석한 결과와 배출수 계측인자와 비교분석하여 보았다. 수질시험을 통해 확보된 6~8월 사이 망간은 8ppm에서 2ppm으로 저감되었다. 이때 관련 자료를 분석한 결과 농축조 수위와 동일 추세선을 그리고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서, 망간 발생 억제를 위해서 농축조 수위를 낮게 운영하도록 하였다.

### 4) OPC 통신을 이용한 로직 범용화

배출수 제어로직은 시범구축사업장을 통한 프로그램 검증 후 국내 및 해외 사이트에 설치 가능하도록 OPC(OLE for Process Control) 프로토콜을 이용하여 다양한 HMI와 연계운전 가능토록 개발되었다. 또한 분석을 위한 트렌드 및 음성경보 등이 상호 연동될 수 있도록 하였다.

## 3. 결론

국내에서 운영되고 있는 대부분의 정수장 배출수 처리시설은 24시간 연속적으로 운전하도록 설계되었으나 주간, 주중에만 운영하고 있다. 하천에 방류되는 수질은 SS(Suspended Solid) 농도가 20mg/L에서 10mg/L로 대폭 강화되었으며, 슬러지의 장기체류에 따라 발생하는 망간 및 클로로포름 등의 문제시 되고 있는 실정이다. 따라서, 배출수 전 공정(침전~탈수)의 물질수지분석을 통하여 Time Scheduling 기반 연속/연동운전 실시로 국내 최초 배출수공정 자동운전 프로그램을 개발하였다. 이를 통해 공정 제어로직 프로그램의 업체 종속을 탈피하고, 운영자의 휴먼 에러를 방지하고, 24시간 연속으로 운영하도록 하여 배출수 처리 효율을 상승시킬 수 있도록 하였다.

변수	활성탄 투입량	농축조 농도	조정조 농도
상관계수	0.6	0.49	0.35
변수	원수 탁도	TMS PH	조정조 수위
상관계수	0.31	0.3	0.27

표 1. 방류수 SS 영향인자 상관관계 분석

구분	다중 상관계수	결정계수	표준 오차
값	0.77	0.59	1.14

표 2. 방류수 SS 회귀분석 결과

## S/W 알고리즘을 이용한 정수장 배출수 공경 작동의 방안



그림 13. OPC 통신 및 음성경보 알림

또한, 기존 PLC 로직 구현의 한계를 극복하고자 Software 로직을 기반으로 하여 유사 사업장에 적용 가능하도록 개발하였다. 따라서, 40여 개소의 자체 사업장에 적용을 통한 제어로직 구축비 절감은 물론 지자체 및 해외 사업장에도 적용한다면 고부가가치를 창출할 수 있을

것이다. 하천에 방류되는 수질 측면에서도 체류시간 제어 등을 통하여 방류 탁도를 개선하고, 망간/클로로포름 등 발암물질 방류 등을 저감하여 하천 생태계 보호에도 기여할 것으로 사료된다.

### 원고를 받습니다

'월간 계장기술'이 참신한 원고를 받습니다. 소장하고 있는 원고나, 평소에 소개됐으면 하는 내용을 기사로 작성하여 보내 주시면 감사하겠습니다. (특별기고·기술정보·연재·산업동향 & 전망 / 자세한 사항은 본지 참조)

#### ▶ 원고 게재 분량 및 내용

- FA와 PA 분야의 주요 품목인 DCS, PLC, 센서, 유량계, 인버터, 컨트롤 밸브, 필드버스(산업통신망), 계측 및 계장 기기, 중전기 및 발전 플랜트와 이를 활용한 기술 및 산업 전망
- 계측 제어 자동화 설비(플랜트) 분야의 산업 트렌드와 시장 전망

#### ▶ 원고 분량 및 발송

A4지 4~10매(연재는 편집부와 협의)이며, E-mail로 보내시면 됩니다. E-mail이 어려운 원고와 첨부자료(카탈로그와 제품사진 등)는 우편발송하시면 됩니다.

#### ▶ 보내실 곳

서울시 영등포구 당산로2길 12 708호  
(문래동3가 에이스테크노타워, 월간 계장기술 편집부)  
TEL : (02)2168-8897 / FAX : (02)6442-2168  
E-mail : procon@procon.co.kr / lcht248@naver.com

#### ▶ 원고마감 : 매월 15일