

# 분석자동화를 위한 용액 조제 시스템 설계에 관한 연구

이상철\* · 강성준\* · 정양희\*\*

A study on the solution prepared system design for analysis automation

Sang-Chul Lee\* · Seong-Jun Kang\* · Yang-Hee Joung\*\*

## 요약

석유화학 단지에서는 보다 완성도 높은 제품을 위한 많은 연구 개발이 진행되고 있으며 이 과정에서 제품의 중간 및 완성 제품에 대한 분석은 필수적이다. 그러나 이와 같은 분석 작업들이 아직도 많은 부분에서 수작업에 의한 분석 시료가 제조되고 있고 위험한 화학물질에 노출되어 열악한 환경에서 분석이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 분석 자동화를 위한 멀티 제어 시스템을 개발하였다. 또한 이들 장치의 유기적인 동작과 자동화를 위한 프로그램을 개발하여 적용하고 이들 장치의 신뢰성 검증을 위한 실험을 통하여 표준 용액 조제를 위한 정량 펌프의 정확도가  $\pm 0.01\text{ml}$ 의 오차 범위를 갖는 매우 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

## ABSTRACT

Petrochemical complex has been a lot of research for the development of a more mature product and analysis for mid-process and finished products is essential in these process. But these analyzes are still by hand work samples being manufactured in many parts. Moreover they are exposed to hazardous chemical and such as the analysis is being made in a very poor working conditions. In this paper, in order to solve such problems the multi control system has been developed for the automated analysis. In addition, the organic behavior of these systems and the development of a program for the automated applied, and throughout the experiment to verify the reliability of this device for the accuracy of the dosing pumps for the standard solution prepared with a range of error of  $\pm 0.01\text{ml}$  was able to get a very good experimental results.

## 키워드

정량펌프, 자동화 프로그램, 멀티제어시스템, 분석자동화  
Accuracy Pump, Human Machine Interface, Multi-Control System, Analysis Automation

## 1. 서론

우리나라 화학공단은 가장 규모가 큰 여수를 비롯한 울산, 대산 산업단지로 크게 분류할 수 있다. 이들

화학 공장에서는 제품의 성분 분석을 위한 분석과정이 상시로 이루어지고 있고 성분 분석을 위해서는 전자제어 장치를 이용한 정확한 표준 시료의 조제가 필수적이며 또한 독성이 강한 화학 약품들을 취급해야

\* 전남대학교 전기및반도체공학과(sclee@hallams.co.kr)

\*\* 교신저자(corresponding author) : 전남대학교 전기및반도체공학과(jyanghee@jnu.ac.kr)

접수일자 : 2013. 05. 15

심사(수정)일자 : 2013. 06. 20

게재확정일자 : 2013. 07. 23

만 한다.[1] 그러나 현재 대부분의 화학공장에서의 시료 분석은 수작업에 의해 이루어지고 있으므로 분석 데이터의 신뢰성 및 효율성 저하는 물론 작업자의 안전도 매우 심각하게 대두되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 수작업에 의한 용액 조제 방법을 HMI 분석을 통해 원하는 정확한 용액량을 맞추고 정량펌프를 이용하여 안전한 방식으로 성분 분석을 위한 용액 조제가 가능하도록 한 분석 자동화를 위한 멀티 제어 시스템을 개발하고자 하였다.[2] 제안된 시스템은 개략적으로 분석기와 용액 조제를 유기적으로 연동할 수 있는 제어시스템, 정밀한 샘플링과 용액 주입을 위한 정량펌프로 구성되도록 설계하였다[3]. 본 연구에서 개발된 시스템은 화학공단을 비롯한 다양한 분야에서 제품 분석의 효율성과 신뢰성 향상은 물론 작업자의 안전이라는 측면을 고려할 때 경제, 사회적 가치가 매우 높을 것으로 판단된다. 더불어 신흥국가로 세계 경제를 이끌고 있는 중국이 화학공단의 영역을 넓히고 있으며 대만, 베트남 등이 후발주자로 시장을 확대해 가고 있는 상황이므로 여수 산업 단지를 비롯한 국,내외 해당 업체들의 상용화도 대단히 빨라질 것으로 기대된다.

## II. 연구 목표

본 연구에서 제안한 분석 자동화를 위한 멀티 제어 시스템은 화학 공정에서 생산 제품의 성분 분석을 위한 요소 작업이며 용액 양을 자동으로 매우 정확히 교반하여 이송할 수 있는 시스템을 갖추도록 설계하고자 하였다. 또한 시료의 오염도를 줄이고 신뢰성있는 성분 분석 데이터를 얻을 수 있도록 특수 제작된 글라스 재질을 사용하고 로드셀(loadcell)을 이용한 정확한 용액 및 샘플량 확인 그리고 프로그램 제어기의 상관 관계를 체계적으로 구성하며 시스템의 특성과 실제 사용될 현장의 생산 공정 기술을 유기적으로 결합하여 우수한 성능을 갖는 분석 자동화를 위한 멀티 제어 시스템 개발을 목표로 하였다.

## III. 시스템 설계 및 구성

### 3.1 제어시스템 설계

분석 자동화를 위한 시스템 판넬 제작의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 그림에서와 같이 우선적으로 작업의 효율성을 고려하여 제어 시스템 기기를 한 판넬에 설치하고, 분석 과정 전반에 대한 모니터링을 가능하게 하였다. 또한 PLC를 이용하여 분석기와 용액 조제 배선 라인을 유기적으로 연동시킬 수 있도록 하였으며 그 과정을 PC를 사용하여 사용자가 모니터링 하며 조절할 수 있도록 제작하였다.

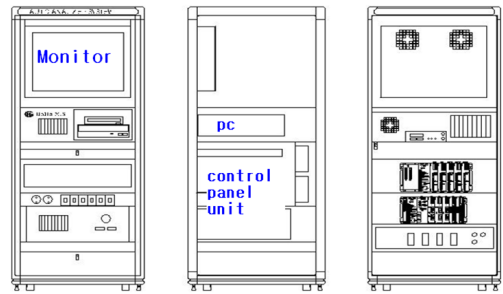


그림 1. 제어 시스템 개략도  
Fig. 1 Schematics of the control system

사용자가 PC를 사용하여 운전 가능한 것은 PC 프로그램인 HMI를 이용하여 직접적으로 PLC를 제어, 컨트롤하기 때문이다.[4-7] 더불어 샘플 이송 라인을 최소화하여 오염과 샘플이 이송된 후 이송 라인에 남아있는 용액을 최소화하도록 설계하였다.

### 3.2 제어프로그램 설계

PLC 기기는 여러 산업단지에서 다양하게 활용되고 있는 장치이며 대부분의 생산 장비, 밸브류 등과 같은 부속기기와도 연동하여 사용 가능하도록 되어 있으므로 그림 2에서와 같이 PLC를 전체적인 컨트롤 제어 장치로 사용자의 조건에 따라 다양하게 수정이 가능하도록 설계하였고, 프로그램은 분석에 필요한 장비 즉, 구동 실린더, sol 밸브, 센서 등을 순차적이며 각각의 동작을 유기적으로 작동할 수 있도록 제작하였다.

일반적인 경우 PLC를 사용하여 전체적인 컨트롤은 할 수 있지만, 현재 어떤 동작을 하는지 혹은 사용자가 동작 방법을 변경하거나 시료량을 변경하는 것은 불가능하도록 되어있다.

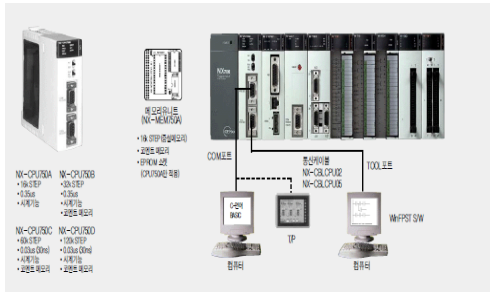


그림 2. PLC CPU의 제어 특성  
Fig. 2 Control specifications of the PLC CPU

이와 같은 단점을 해결하기 위하여 본 연구에서 개발 적용한 것이 HMI 프로그램이고 그 구성도를 그림 3에 각각 나타내었다.

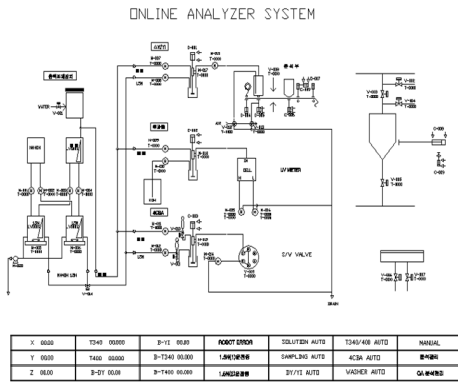


그림 3. HMI 구성도  
Fig. 3 HMI configuration drawing

그림 3에서와 같이 모든 운전 방식을 HMI를 이용하여 진행함으로써 분석의 효율성을 개선하였으며, 현재 PLC에 연결된 구동 기기의 동작 여부를 실시간으로 디스플레이 함으로써 사용자가 분석 진행 절차를 파악하기 쉽고, 수동으로 작업시 각 구동기기를 간단하게 PC를 이용한 클릭만으로 동작을 가능하게 하였다.[8-9]

### 3.1 용액조제 시스템 설계

자동 용액조제 시스템은 주로 화학공장에서 생산제품의 성분 분석을 위한 표준 용액 제조 공정에 주로 사용되기 때문에 용액의 양을 매우 정확히 자동으로 측정하고 교반하여 이동할 수 있도록 하여야 한다. 따

라서 본 연구에서 구성한 용액 조제 장치의 개략적인 구성도와 흐름도를 그림 4, 5에 각각 나타내었다.

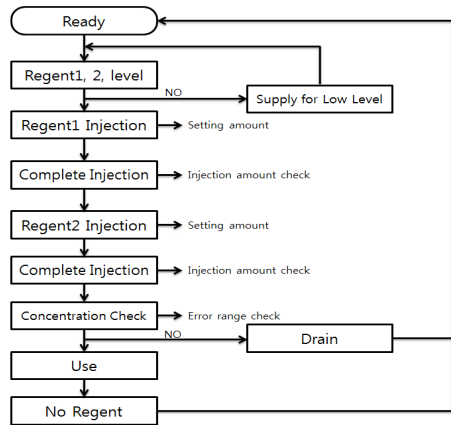


그림 4. 용액 조제 장치의 흐름도  
Fig. 4 Flow chart of the solution prepared system

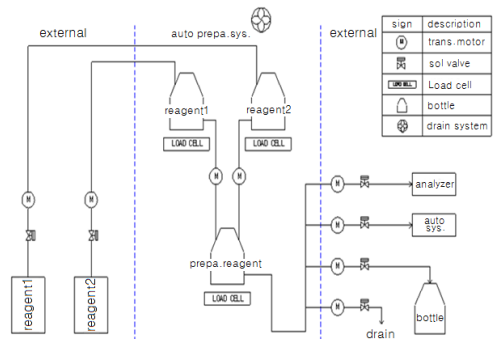


그림 5. 용액 조제 장치의 화면 구성도  
Fig. 5 Touch screen configuration of the prepared system

그림 4에서 용액 이동 라인은 내구성이 뛰어난 PTFE 재질을 사용하였고 이송량의 정확성을 확보하기 위하여 정량펌프(25KW, 220V, 60Hz)를 장착하였다.[10] 본 연구에 사용한 정량펌프는 분당 1,550rpm 회전이 가능하며 감속기 사용으로 3.2mm 튜브 사용시 410ml의 용액 이송이 가능한 것을 사용하였다. 또한 정량펌프와 용액 용기 하부에 로드셀(20-400Kgf)을 장착하여 중량을 mA 단위로 변환하여 PLC에 전송함으로써 정확한 용액 조제 비율이나 무게가 잘못 계측 되었을 때 재분석이 가능하도록 프로그램화하여 이송 오차를 최소화할 수 있도록 구성하고 작업자가

설정된 무게에 따라 정량펌프가 구동하면서 원하는 비율의 용액을 공급하며 용액 1, 2 원액이 정확한 비율로 조제가 가능하도록 그림 5와 같이 프로그램을 설계하였다.

용액 조제 장치는 운전의 편의성을 고려하여 PLC를 주 조절 장치로 이용하고 터치스크린으로 동작 상태를 확인하면서 진행할 수 있도록 제작하였고 이를 터치 스크린에 나타낼 수 있도록 하였다. 용액 조제는 일반적으로 사용자가 원하는 분석 상황 혹은 샘플에 따라 원액의 비율을 달리하여 설정할 필요가 요구되어 진다. 그 해결 방안으로 터치스크린을 이용함으로써 사용자가 언제든지 용액 비율을 조절 가능하게 설계, 제작되었으며 조제 원액의 양 및 조제되어있는 용액의 양을 화면으로 직접 확인할 수 있도록 하였고 수동으로도 동작할 수 있도록 하였다.

#### IV. 성능 평가

실리콘 튜브를 압축하여 1회전시 단위면적의 용량만 주입하도록 되어있는 정량 펌프의 외부 제어를 기존의 RS-232에서 DI/DO로하고 marprene 튜브를 사용하여 모터와 펌프 헤드를 연결하여 용액의 이송량을 확인하였고, 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 이때 튜브 내경은 3.2mm를 사용하였다.

그림 6에서와 같이 오차율은 케이블의 연결상태, 튜브에 남아있는 용량으로 약  $\pm 0.01\text{ml}$ 로 매우 정확한 결과를 얻을 수 있었으므로 구성된 용액 조제 시스템으로 조제한 시료는 시약 1, 2의 정확한 비율로 조제할 수 있다는 신뢰성을 확보할 수 있었다.

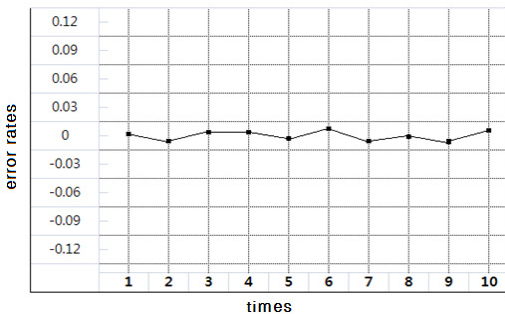


그림 6. 정량 펌프의 오차  
Fig. 6 Error rates of quantitative control pump

그림 7은 도면으로 작성된 시스템의 실제 제작 모습을 나타낸 것이며 HMI 프로그램을 사용하여 동작 상태 및 매뉴얼 키를 디스플레이 스크린으로 제작하여 나타낸 것이다. Main 스크린은 자동 운전이나 수동 운전일 때 각 구동 기기의 동작 상태를 램프 및 색상 변화로 사용자가 바로 확인할 수 있도록 제작하였다.



그림 7. 각부의 제작된 시스템 사진  
Fig. 7 Photograph of each part of the system panel

본 시스템의 성능 평가는 화학 공단의 테스트에 맞도록 TPA 제품으로 사용하였다. TPA는 암모니아( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) 시료를 물( $\text{H}_2\text{O}$ )과 혼합하여 TPA를 녹인 후 자동과 수동 분석으로 투과율, 색차( $\Delta Y/YI$ ), 4CBA의 결과를 확인하여 그림 8, 9, 10에 각각 나타내었다.

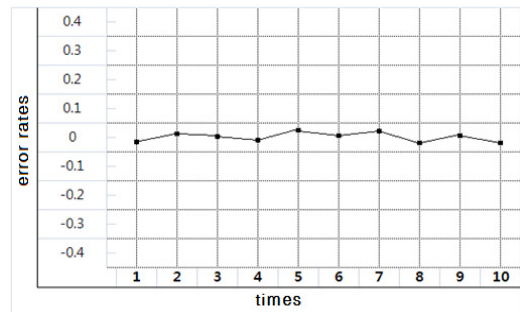


그림 8. 투과도 오차율  
Fig. 8 Error rates for transmissivity

그림 8에서와 같이 투과율 분석 결과 오차가  $\pm 0.1\%$  이내로 자동 분석의 신뢰성이 확보된 것을 확인할 수 있었으며, 색차계분석기기를 통한 색차(광전색

도계)의 결과는 샘플링 양에서는 약간의 오차가 나타났지만 그에 따른  $\Delta Y/YI$  분석 데이터의 오차율이 그림 9에서와 같이  $\pm 0.1$  이내로 자동 분석의 신뢰성을 확보하였다.

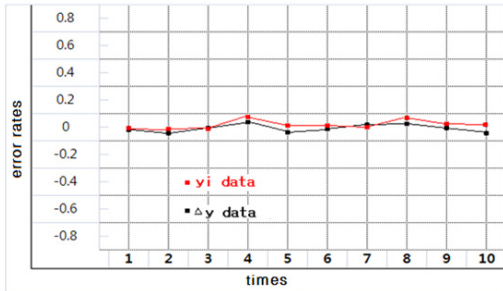


그림 9.  $\Delta y/y_i$  오차율  
Fig. 9 Error rates for  $\Delta y/y_i$  analysis

$\Delta Y/YI$ 의 측정은 색차계(minolta model CR-400)를 이용하였으며 분석방법은 완성 제품을 녹여 분석전용 용지인 백색 필터를 통과시키고 이를 색차계를 이용하여  $\Delta Y$ (yellow, 무기물)과  $YI$ (black, 유기물)을 기준으로 색차를 측정하였다. 또한 그림 10은 4CBA 자동 분석과 수동 분석에 대한 데이터를 나타낸 것으로 오차율이  $\pm 0.1$  이내로 자동 분석의 신뢰성과 수동 분석에 의한 안정성을 확인할 수 있었다.

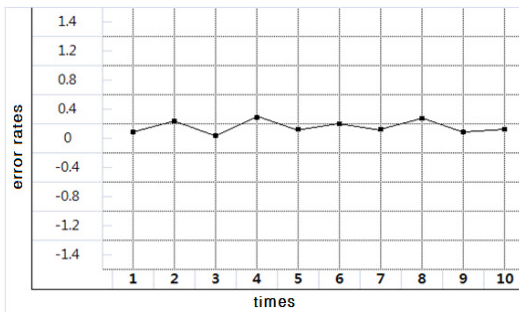


그림 10. 4CBA 오차율  
Fig. 10 Error rates for 4CBA

## VI. 결론

본 논문은 기존의 화학공장에서 수작업에 의한 제품 성분 분석에 대한 문제점을 해결하기 위하여 분석

자동화를 위한 멀티 컨트롤 시스템 제작을 제안하였고 이를 실제 구현하였다. 그리고 화학공단에서 요구되는 분석 파라미터를 제안된 시스템을 통해 분석한 결과 샘플링양, 투과도 및 색차등의 오차 범위가 0.1% 이내로 확인되어 요구되어지는 0.25%의 기준을 모두 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

본 시스템을 산업 현장에 공급함으로써 근로자가 위험한 화학물질에 직접 노출되는 안전사고를 미연에 방지할 수 있음은 물론 기존의 용액조제 방법보다 안전하고 신뢰성있는 분석이 가능하여 생산의 효율성과 안정성이라는 사회적 측면과 함께 신형 화학공업을 확장해 나가는 개발국에 공급함으로써 경제적 산업 가치가 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] J.S. Lee "A controller development of water heating in a ceramic pipe using electronics control", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 5, pp. 717-722, 2011.
- [2] M.Y. Noh, Y.S. Lee, B.K. Hou, D.G. Shin and K.S. Hwang "Knowledge Framework and Algorithm for Automating HAZOP Analysis of Batch Processes", Hwahak Konghak, Vol. 39, No. 3, pp. 292-299, 2001.
- [3] D.S. Park, J.P. Choi and H.Y. Kim "The Flow Analysis and Evaluation of the Peristaltic Micropump", Journal of The Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 2, pp. 195-202, 2004.
- [4] S.Y. Kim and S.H. Park "A Study on Control System of the Heat Treating Furnace", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 3, pp. 405-410, 2011.
- [5] K.B. Sun, K.O. Han and K.U. Lim "Study on Development of Embedded HMI System for PLC Monitoring", Journal of the Institute of Electronics Engineering of Korea, Vol. 42, No. 4, pp. 1-10, 2005.
- [6] Y.N. Zhang and S. H. Park "A Study on the Combustion Control System and Thermal Efficiency", The Journal of The Korea Institute



of Electronic Communication Sciences, Vol. 5, No. 6, pp. 645-650, 2010.

- [7] H.J. Park, C.Y. Bae, H.C. Moon and K.H. Lee "Virtual Prototyping of Portable Consumer Electronic Products Based on HMI Functional Simulation", Journal of Korean Institute of Industrial Engineerings, Proceeding, pp. 854-861, 2005.
- [8] F. Zorriassantine, C. Wykes, R. Parkin, and N. Gindy "A Survey of Virtual Prototyping Techniques for Mechanical Product Development", Journal of Engineering Manufacture, Vol. 217, No. 4, pp. 513-530, 2003.
- [9] N. Shyamsundar and R. Gadh "Collaborative Virture Prototyping of Product Assemblies over the Internet", Computer Aided Design, Vol. 34, No. 10, pp. 775-768, 2002.
- [10] S. Shoji and M. Esashi "Microflow Devices and System", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 4, No. 4, pp. 157-171, 1994.



**정양희(Yang-Hee Joung)**

1983년 단국대학교 응용물리학과 졸업(공학사)

1985년 인하대학교 대학원 응용물리학과 졸업(공학석사)

1993년 인하대학교 대학원 전자재료공학과 졸업(공학박사)

1995년~현재 전남대학교 전기및반도체공학과 교수

※ 관심분야 : 반도체 공정 및 물성

저자 소개



**이상철(Sang-Chul Lee)**

2011년 전남대학교 전기및반도체공학과 졸업(공학사)

2013년 전남대학교 대학원 전기및반도체공학과 석사과정

현재 (주)한라엠에스 대표이사

※ 관심분야 : 자동화 및 제어시스템



**강성준(Seong-Jun Kang)**

1989년 인하대학교 응용물리학과 졸업(공학사)

1994년 인하대학교 대학원 전자재료공학과 졸업(공학석사)

1999년 인하대학교 대학원 전자재료공학과 졸업(공학박사)

현재 전남대학교 전기및반도체공학과 교수

※ 관심분야 : 기능성박막, 반도체공정 및 재료