

# 자동화 계측 시스템 설계를 통한 액상황산알루미늄 제조 공정의 개선에 관한 연구

## (A Study on Improvement of Liquid Aluminum sulfate Manufacturing Process Using Automation Measurement System)

류 정 탁<sup>1)\*</sup>  
(Ryu Jeong Tak)

**요 약** 본 논문에서는 자동화 계측 시스템 설계를 통하여 액상황산알루미늄 제조 공정을 개선하였다. 액상황산알루미늄 제조과정은 대용량의 무게를 사용하며 제품의 품질이 생산과정에서 투입되는 원료의 비율에 높게 의존하기 때문에 정밀한 중량 분석이 매우 중요하다. 자동화설계를 위하여 대용량의 무게를 정밀하게 측정할 수 있는 로드셀 센서와 자동화 공정에서 가장 많이 활용되는 PLC 기술을 적용하였다. 자동화 시스템을 사용하기 전에 생산된 황산알루미늄에 포함된 산화알루미늄의 함량은 8.023% ~ 8.250%의 변화가 나타났으나 자동화 시스템 적용 이후에는 8.09% ~ 8.109% 로 변화폭이 크게 감소하였다. 그 결과 계량오차에 의한 품질 불량률을 감소시킬 수 있었으며 물과 재이용수의 부정확한 투입으로 인한 반응제품의 역류 현상과 같은 안전사고를 감소시킬 수 있었다.

**핵심주제어** : 자동화 계측 시스템, 공장자동화, 스마트 팩토리, 로드셀, PLC, 황산알루미늄

**Abstract** In this Paper, we have Improved the Manufacturing Process of Liquid Aluminum Sulfate using the Design of Automated Measurement Systems. The Manufacturing Process of Liquid Aluminum Sulfate uses a Large Weight. The Quality of a Product Depends Highly on the Proportion of the Raw Material Input in the Production Process. Therefore, it is Very Important to Accurately Measure the Amount of Raw Material. For Automation Design, Load Cell Sensor which can Measure Large Weight Accurately and PLC Technology which is most used in Automation Process are Applied. The Content of Aluminum Oxide in the Aluminum Sulfate Produced before the Automation Design Varies from 8.023% to 8.250%. However, after Automation Design, the Amount of Change from 8.09% to 8.19% was Greatly Reduced. As a Result, we could Reduce the Quality Defect rate Due to Weighing Errors and Reduce Safety Accidents by Applying Automation System.

**Key Words** : Automation Measurement System, Factory Automation, Smart Factory, Load Cell, PLC, Aluminum Sulfate

---

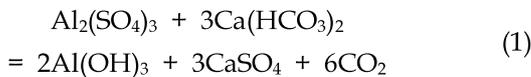
\* Corresponding Author : jryu@daegu.ac.kr  
Manuscript received Aug 5, 2017 / revised Oct 14, 2017 /  
accepted Oct 18, 2017

1) 대구대학교 전자공학전공, 제1저자 교신저자

### 1. 서 론

용수와 폐수의 수처리 기술은 물리적, 화학적 및 생물학적 처리로 구별되고 있으며 화학적 처리 방법 중 응집처리 방법이 가장 범용적으로 사용되고 있다. Alum 또는 황산반토로 불리는 황산알루미늄( $Al_2(SO_4)_3$ )은 무기응집제의 대표적인 것으로 우수한 응집특성과 저렴하고 무독성이며 거의 모든 수종의 탁질에 적합하고 취급이 용이하여 가장 광범위하게 사용되고 있는 응집제이다 [1-3]. 황산알루미늄은 상수도, 공업용수, 공장폐수 등을 정수하는데 있어 이들에 들어있는 흙, 먼지 또는 수중에 들어있는 콜로이드상의 부유물질과 같은 탁도 유발 물질들을 응집 제거 시키는 정수처리제로 대부분 사용된다. 기타 용도로서는 제지안료, 시약제, 소화기 등 각종 촉매용으로 널리 사용된다[3-5]. 특히 산업폐수 중에 들어있는 여러 가지 찌꺼기(Sludge)등을 응집처리 하는데 주로 사용된다[6-7].

액상황산알루미늄 생산에 있어 황산알루미늄에 포함된 산화알루미늄( $Al_2O_3$ )의 함량은 황산알루미늄의 품질에 매우 중요한 요소 중의 하나이다. 일반적으로 액상 황산알루미늄 속에 포함되는 산화알루미늄이 8.3% 이상이 되면 결정이 석출되어 겨울철에는 주입관이 폐쇄되는 경우가 있다 [8]. 따라서 황산알루미늄 제조 과정에서 발생하는 혼합비의 문제는 제2차 생산제품에 큰 영향을 준다[8]. 알루미늄의 응집작용은 물속의 알칼리와 반응하여  $Al(OH)_3$ 을 생성하고 이것이 물 속의 부유물질과 결합해서 점차 성장하여 큰 응집물(floc)이 되어 침강한다.



그러나  $Al(OH)_3$ 의 응집기전과 생성과정은 복잡하며 응집과정에서 Al의 중합이온이 생성된다. 이 생성은 pH, 응집제, 공존이온 등에 좌우되며 floc의 형성 능력에 큰 영향을 준다[9,10]. 한편 황산알루미늄은 제조공정에 수산화알루미늄, 물, 진한 황산을 투입하는 발열반응으로 최고 120℃

이상의 고온반응을 거쳐 생산된다. 제조공정이 수동인 경우 고온 반응상태에서 물과 재이용수의 추가 투입량을 육안으로 확인한다. 이를 위해서 반응기 투입구를 Open하여 투입량을 측정한다. 이런 경우 제품 품질의 균일성과 작업 근로자의 안전성 확보가 어렵다. 이때 발생하는 고온의 증기로 인하여 위험한 작업 환경에 노출된다. 한편 IT기술은 산업 자동화 및 생활 지원 등의 기기에 널리 적용되어 생활의 편의성과 근로 환경의 개선을 촉진시키고 있다[11-13].

본 연구에서는 황산알루미늄제조 과정을 자동화 하므로 계량오차에 의한 품질 불량률을 감소시킬 수 있었으며 물과 재이용수의 부정확한 투입으로 인한 반응제품의 역류 현상과 같은 안전사고를 감소시킬 수 있었다.

### 2. 시스템 구성 및 설계

제품 생산에 사용되는 원료의 투입량은 제품의 품질에 영향을 준다. 따라서 매 공정마다 투입량을 정확히 측정할 수 있어야하며 투입량의 오차 범위가 매우 작아야 한다. 그러므로 반복되는 제조공정 절차에 따라 수산화알루미늄, 물, 황산, 용수, 재이용수 등의 투입량을 실시간으로 측정하여 제품의 품질을 확보할 필요가 있다. 실제 본 공정에서 사용되는 원료와 각 원료별 투입량의 허용 오차량은 Table 1과 같다.

Table 1  $Al_2(SO_4)_3$  Manufacturing raw materials and input amount

Material	Input amount	Error amount	Remarks
$Al(OH)_3$	3,500kg	±20kg	0.6%
Water	4,500kg	±50Kg	1.1%
$H_2SO_4$	6,300Kg	±20Kg	0.3%
Primary water	5,000Kg	±50Kg	1.0%
Recycled water	6,700Kg	±50Kg	0.7%

황산알루미늄 제조공정에서 물과 재이용수를 투입할 때 투입량을 육안으로 확인하여 투입하던

것을 반응기 하부에 무게를 측정할 수 있는 센서를 설치하여 물과 재이용수를 정확히 계량하여 투입함으로써 계량오차에 의한 품질 저하 감소와 안전사고를 예방할 수 있다. 투입량의 정확한 계측을 위해서는 다양한 센서를 고려할 수 있으나 본 공정 과정에서는 투입량의 무게 등을 고려할

이 각각의 공정에 투입 될 때 로드 셀은 하중을 측정하고 목표치에 도달하면 원료 탱크의 밸브를 잠그므로 혼합비가 조절된다.

반응기 하부에 하중센서의 설치 전후의 사진은 Fig. 2와 같다. Fig.2(a)은 하중센서 설치전의 반응기 1호 및 2호기의 사진이다. Fig. 2(b)는 제1

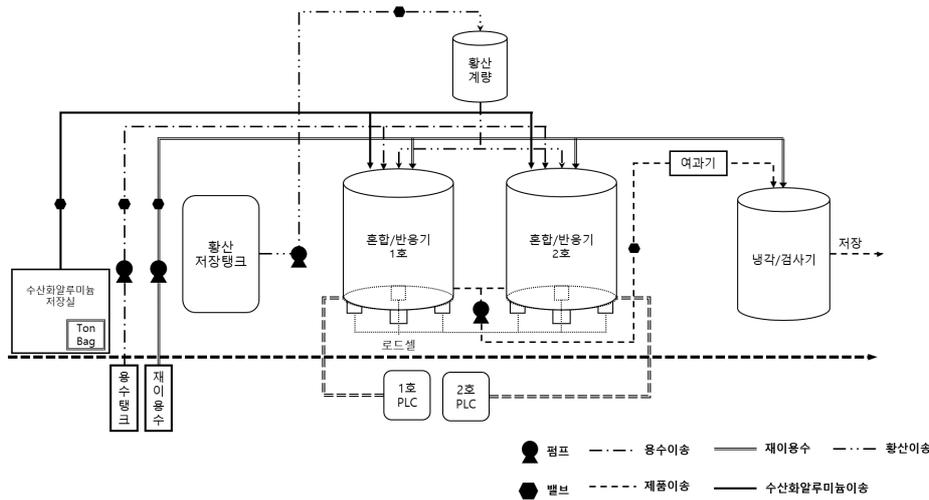


Fig. 1 Schematic diagram of the automation system

때 로드 셀을 이용한 제조공정 보조 시스템을 사용하였다.

최적의 시스템을 설계하기 위해서는 하중의 무게 중심을 고려한 로드 셀의 배치, 시스템 에러 보정, 그리고 교정을 통한 정밀성을 확보할 필요가 있다. 또한 로드 셀 신호 출력에 대응한 디지털 판넬 미터의 선택과 각 로드 셀의 출력량이 실시간으로 계측 표시되어야 한다. 이와 더불어 PLC에 의한 제어 출력을 진송하고 전체 시스템을 제어하는 공정 흐름이 필요하다. 본 설계에서 사용된 하중센서는 LC-8218S-T015이며 센서의 자세한 스펙은 Table 2와 같다.

공정자동화를 위해 본 과제에서 설계된 전체 시스템의 개략도는 Fig. 1과 같다. 제1호 및 제2호 혼합/반응기 아래에 각각 4개의 로드 셀 센서가 설치되어 있으며 이들은 제어 시스템과 연결되어 있다. 또한 각각의 원료 탱크의 밸브에도 PLC 시스템이 연결되어 있다. 따라서 액상황산 알루미늄의 생산과정에서 혼합비에 맞는 원료들

Table 2 Detailed specifications of the LC-8218S-T015 sensor

Model	LC-8218S-T015
Rated Output	2.0±0.004mV/V
Combined error	0.03%
Creep for 30min.	0.03%
Repeatability	0.02%
Zero balance	0.0±0.02mV/V
Compensated Temperature Range	-10 ~ +40℃
Operating Temperature Range	-20 ~ +80℃
Recommended Excitation Voltage	10V
Maximum Excitation Voltage	15V
Input Resistance	800Ω ± 40Ω
Output Resistance	700Ω ± 7Ω
Insulation Resistance	>2,000MΩ
Temperature effect on Zero Value	0.03%/10℃
Temperature effect on Output Value	0.015%/10℃
Max. capacity	15tf

호 반응기와 제2호 반응기 각각의 하부에 4개의 하중센서를 설치한 이후의 사진이다. Fig. 2(c)는 하중센서 부분을 확대하여 촬영한 사진이며 그림의 중간에 있는 시스템에 의하여 원료의 무게는 정해진 공정에 따라 자동으로 계측된다. 황산알루미늄 제조 과정에 있어 최적의 비율로 각 공정에서 용수공급 및 재이용수공급이 이루어져야 한다. 이를 위하여 PLC를 사용하여 자동제어 시스템을 설계하였다.

PLC(Programable Logic Control)란 복잡한 시퀀스 시스템을 프로그램으로 바꾸어 사용자가 사용하기 편리하도록 만든 Unit이다. PLC를 이용하면 설계도 간단하며, Panel 제작도 쉬우며, 추후 회로 수정작업 및 증설 작업도 쉽게 할 수 있다.

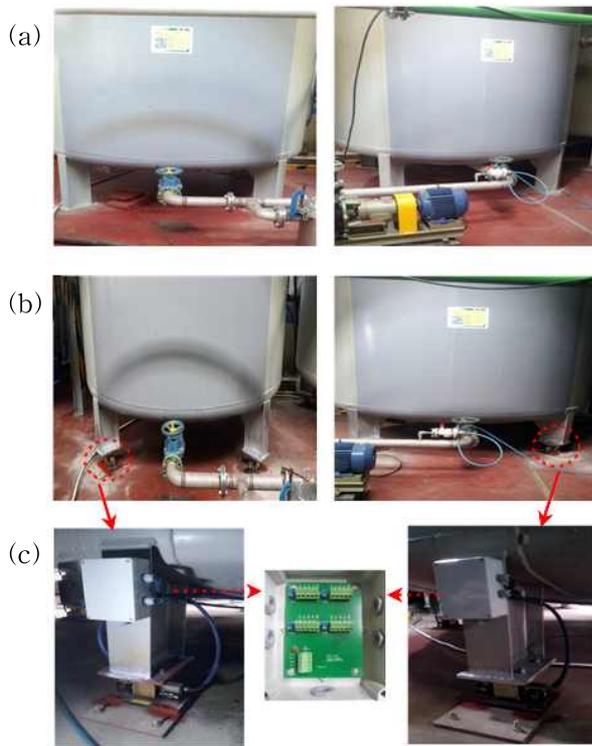


Fig. 2 Photograph before and after installation of load sensor and PLC system

- (a) Before installation
- (b) After installation
- (c) Sensor measurement board of installed load sensor

### 3. 실험결과

#### 3.1 하중센서 성능 평가

Fig. 2와 같이 반응기 아래에 4개의 하중센서를 부착하여 센서의 성능을 평가하였다. 평가의 방법은 정해진 물체의 무게를 1,000kg 단위씩 제1호 반응기와 제2호 반응기에 각각 투입하여 정확한 하중 값이 표시 되는지를 확인하였다. 평가 결과는 Fig. 3과 같다. (▲) 모양의 결과는 표준으로 정해진 분동을 반응기 위에 차례로 올려놓았을 때 표준분동의 값과 하중센서가 지시하는 무게 값의 차이를 나타내고 있다. 한편 (●) 모양의 결과는 무게 값을 조정한 후 분동을 다시 반응기 위에서 차례로 내렸을 때 반응기 위에 존재하는 무게의 값과 하중센서에서 표시되는 값의 차이를 나타내고 있다. 하중센서의 테스트는 제1호 반응기와 제2호 반응기에 대하여 각각 수행되었으며 그 결과는 유사하였다.

무게를 증가시킬 때 무게가 무거울수록 오차 값들이 많이 발행하는 것을 볼 수 있다. 이와 반대로 무게를 감소시킬 때는 낮은 무게의 범위에서 오차 값들이 많이 발생하고 있는 것을 볼 수 있다.

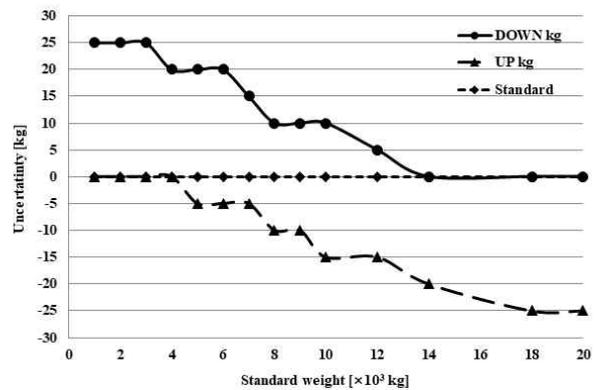


Fig. 3 First performance evaluation result of load sensor

이 결과는 하중센서가 설치되어 있는 반응기가 설비 장치들 간에 파이프(배관)로 연결되어 있어 원료의 정확한 무게가 하중센서 전체에 집중되지 못하고 분산되기 때문으로 분석 되어졌다. 상기

에 언급한 중량편차를 해결하기 위하여 용수공급 Line, 재용수 공급 Line, 반응기 배출 Line에 후렉시블 조인트를 설치하므로 원료의 무게가 하중 센서 전체에 집중 되도록 다시 설계하였다. Fig. 4는 상기의 하중센서의 문제를 해결한 이후 센서의 성능 평가를 한 결과이다.

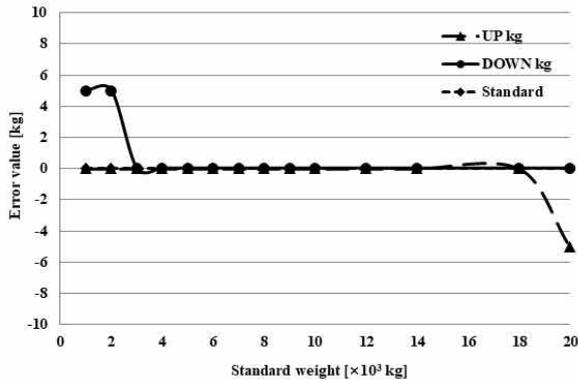


Fig. 4 Results of load sensor performance evaluation after installing a flexible joint between reactor peripherals

Fig. 3의 결과와는 다르게 분동을 올릴 때와 내릴 때 큰 차이를 보이지 않았다. 이에 반하여 3,000kg과 20,000kg의 무게에서는 문제가 아직 존재한다. 그러나 본 공정에서는 사용하지 않는 무게이므로 생산 공정에는 큰 영향을 주지 않는다.

### 3.2 자동화 시스템에 의한 제품품질 평가

설계된 자동화 시스템의 성능을 분석하기 위하여 생산물 속에 포함된 산화알루미늄의 함량을 분석하였다. 앞서 언급한 것과 같이 황산알루미늄의 품질은 그 속에 포함된 산화알루미늄의 함량( $Al_2O_3$ )에 크게 의존한다.

따라서 액상황산알루미늄의 품질을 안정시키기 위해서는 매번 생산되는 제품에 포함되는 산화알루미늄의 비율이 8.3%이하이면서 비율의 변화폭이 적어야 한다. 산화알루미늄의 함량 분석은 ICP(inductively coupled plasma) 분석 장비를 사용하였다. ICP는 유도결합플라즈마를 이용한 분석기로서 금속성분의 측정에 많이 사용된다. 시료를 6000도 이상에서 플라즈마 상태로 이온화시

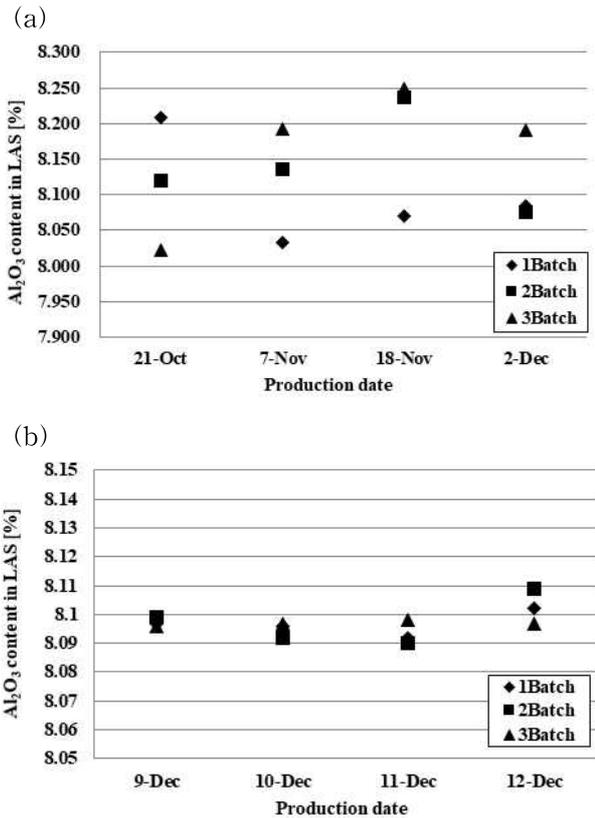


Fig. 5 The content of aluminum oxide in liquid aluminum sulfate. (a) For products manufactured before installation of the automatic weighing system, (b) For products produced after installation of the automatic weighing system

키고 이를 분석하는 기법으로 들뜬상태가 된 이온들이 바닥상태로 떨어지면서 내는 빛의 스펙트럼을 측정하여 분석하는 방법이다[14].

자동 중량 측정 시스템을 설치하기 전에 생산된 12회의 제품 속에 포함된 산화알루미늄의 함량과 설치 이후에 생산된 12회의 제품 속에 포함된 산화알루미늄의 함량을 비교하였다. Fig. 5(a)는 자동 중량 측정 시스템 설치 전에 생산된 제품의 산화알루미늄의 함량의 변화를 나타낸 것이다. 산화알루미늄의 함량이 8.3% 이하이지만 매번 생산 될 때마다 함량들이 크게 다르게 나타났다. 특히 같은 날에 생산되는 제품에 대하여서도 큰 변동이 있음을 볼 수 있다. 이에 반하여 자동

중량 측정 시스템을 설치한 이후에 생산된 액상 황산알루미늄에 포함된 산화알루미늄의 함량은 Fig. 5(b)에 보이는 것처럼 매우 안정적인 것을 볼 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 액상황산알루미늄 제조 공정에서 발생하는 산업의 애로 기술들을 스마트 팩토리 개념을 도입하여 산업 공정 과정을 자동화하였다. 액상황산알루미늄의 품질은 그 속에 포함되는 산화알루미늄의 함량에 의하여 결정된다. 산화알루미늄의 함량은 제조과정에서 투입되는 원료의 양에 의존한다. 본 연구에서는 로드셀 센서와 자동화 공정에서 가장 많이 활용되는 PLC 기술을 적용하여 투입되는 양을 정확하게 계측하므로 혼합비를 정밀하게 조정할 수 있었다.

자동화 시스템을 사용하기 전에 생산된 황산알루미늄에 포함된 산화알루미늄의 함량은 8.023% ~ 8.250%의 변화가 나타났으나 자동화 시스템 적용 이후에는 8.09% ~ 8.109% 로 변화폭이 크게 감소하였다. 그 결과 계량오차에 의한 품질 불량률을 감소시킬 수 있었으며 물과 재이용수의 부정확한 투입으로 인한 반응제품의 역류 현상과 같은 안전사고를 감소시킬 수 있었다.

#### References

- [1] Park Hanbai, Lim Sung-il, Lee Hosun & Woo Dal-Sik, "Water Blending Effects on Coagulation-flocculation using Aluminum Sulfate (alum), Polyaluminum Chloride (PAC), and Ferric Chloride (FeCl<sub>3</sub>) using Multiple Water Sources", *Desalination and Water Treatment*, Vol. 57, Issue 16, pp. 7511-7521, 2016,
- [2] Bhuvaneshwari M, Bairoliya S, Parashar A, Chandrasekaran N, Mukherjee A, "Differential Toxicity of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particles on Gram-positive and Gram-negative Sediment Bacterial Isolates from freshwater", *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 23, Issue 12, pp. 12095 - 12106, 2016,
- [3] Jacqueline I. Kroschwitz and Mary Howe-Grant, "Encyclopedia of Chemical Technology", Wiley-Interscience (1996) p. 445.
- [4] Yan Yutao, Dong Youming, Chen Hui, Zhang Shifeng, and LI Jianzhang, "Effect of Catalysts and Sodium Hydroxide on Glyoxal-treated Wood", *BioResources* Vol. 9, No. 3, pp. 4540-4551, 2014,
- [5] John Daintith, "The Facts On File Dictionary of Chemistry", Facts On File, Inc.(2005) p. 14
- [6] O.P. Sahu, and P.K. Chaudharl, "Review on Chemical Treatment of Industrial Waste Water", *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* Vol. 17 (2), pp. 241-257, 2013,
- [7] Chai SiahLee, John Robinson, MeiFong Chong , "A Review on Application of Flocculants in Wastewater Treatment", *Volume 92, Issue 6*, pp. 489-508, 2014,
- [8] Patrick L. brezoni and William A. Arnold, "Water Chemistry : An Introduction to the Chemistry of Natural and Engineered Aquatic Systems", Oxford University Press (2011) pp. 449-7139.
- [9] G. Gyawali and A. Rajbhandari, "Investigation on Coagulation Efficiency of Polyaluminium Silicate Chloride (PASiC) Coagulant", *Scientific World*, Vol. 10, No. 10, pp. 33-37, 2012,
- [10] Lawrence K. Wang, Jiaping Paul Chen, Yung-Tse Hung, Nazih K. Shammass, "Heavy Metals in the Environment", CRC Press. pp. 233-234, 2009,
- [11] Jo J. W. and Choi A. Y., "Automatic Food Intake Frequency Detection Method," *Journal of Industrial Information*

- Technology and Application, Vol. 1, No.1, pp. 4-8, 2017,
- [12] Ryu Jeong T., "The Development of Fall Detection System using 3-axis Acceleration Sensor and Tilt Sensor," Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, Vol. 18, No. 4, pp.19-24, 2013,
- [13] Yoon H. S. and Park S. H., "Enabling In-Vehicle Infotainment with Bluetooth Connectivity," Journal of Industrial Information Technology and Application, Vol. 1 No. 1, pp.15-21, 2017,
- [14] Warra A. A. and Jimoh W.L.O., "Overview of an Inductively Coupled Plasma(ICP) System", International Journal of Chemical Research, Vol. 3, Issue 2, pp. 41-48, 2011,



류 정 탁 (Ryu Jeong Tak)

- 종신회원
  - 1999년 : 오사카대학교 전자공학과 공학박사
  - 2000년 3월~현재 : 대구대학교 전자전기공학부 교수
- 관심분야 : 나노 및 센서