Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 17, No. 7 pp. 273-279, 2016

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.7.273
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

# 니켈-텅스텐 합금 도금 공정액 농도 제어 시스템 개발

공정식
인덕대학교 기계설계학과

# Development of Concentration Control System for Ni-W Alloy Plating Solution

**Jung-Shik Kong**
**Department of Mechanical Design, Induk University**

**요 약** 본 논문은 니켈-텅스텐 합금 도금 공정액에 대해 혼합 상태에서 각 공정액에 대한 농도를 정확하게 측정할 수 있는 센서 및 이를 기반으로 정밀한 농도 제어를 수행할 수 있는 제어 시스템 대한 논문이다. 최근 인쇄회로기판 시장은 전자산업의 발달로 커지고 있으며, 이에 따라 금 소비도 급격하게 증가되고 있다. 하지만 금은 비싼 원자재로 금을 대체하거나 줄이기 위한 다양한 복합 도금 공정액 개발이 이루어지고 있다. 이에 비해 복합도금 공정액을 실시간으로 측정할 수 있는 센서 개발은 아직 미진한 상태이다. 더군다나 실시간으로 도금 품질을 극대화 할 수 있도록 복합 도금 공정액 농도를 측정하고 이를 토대로 농도를 제어하기 위한 시스템은 전무한 실정이다. 이에 본 논문에서는 이러한 복합 도금 공정액에 대한 농도를 정확하게 측정할 수 있는 센서 및 농도 제어를 수행하기 위한 시스템을 개발하고자 한다. 이를 위해 분광광도법을 기반으로 복합 도금 공정액 농도를 정밀하게 측정할 수 있는 센서를 개발하며 센서 농도에 대한 피드백 제어를 통해 농도를 정확하게 유지할 수 있는 시스템을 개발한다.

**Abstract** This paper deals with a control system with a concentration sensor for Ni-W alloy plating solutions. The printed circuit board market has increased with the development of the electronics industry. Gold consumption has also increased dramatically. Various studies of composite plating solutions have been conducted because of the expense of gold. In comparison, the development of sensors capable of measuring a composite plating solution in real-time is still insufficient. Furthermore, there are few systems that can measure and control the concentration of the solution precisely. This study developed a sensor and system to control the concentration of composite plating solution accurately. The sensors were developed based on a spectrophotometric method and a feedback control method was applied in this system.

**Keywords :** composit plating solution, concentration control, nickel, tungsten, spectrophotometry

## 1. 서론

최근 전자산업의 발달로 인해 인쇄회로기판에 대한 시장이 증대되고 있다. 이러한 상황에 맞춰 인쇄회로기판 도금 관련 시장 또한 급격하게 확대되고 있다. 인쇄회로기판 관련 시장의 경우 중국, 일본, 대만, 한국이 전 세계시장의 80%를 차지하고 있으며, 우리나라는 이 중 4위 위치에 있다. 하지만 이러한 국내 인쇄회로기판 시장 상황 대비 이와 관련된 핵심 부품, 소재의 상당수를 일본에서 수입하고 있는 실정이다.

인덕대학 연구비에 의해 수행되었음.
*Corresponding Author : Jung-Shik Kong(Induk Univ.)
Tel: +82-2-950-7526 email: jskong@induk.ac.kr
Received January 18, 2016 Revised (1st July 1, 2016, 2nd July 6, 2016)
Accepted July 7, 2016 Published July 31, 2016

일반적인 인쇄회로 기판의 경우 내마모성 및 내식성이 요구되는 특성상 하지 층에 전해니켈 도금을 형성하고 그 위에 코발트, 니켈 등의 원소를 미량 첨가하여 경도를 높이는 전해경질 도금을 수행한다. 이 때 인쇄회로 기판 내 마모나 스크래치 등으로 니켈 층이 드러날 경우 전기적 특성 변화 및 부식으로 인한 부분이 발생하므로 금도금을 0.76μm 이상, 경우에 따라서는 3.0μm 이상으로 금도금을 수행하게 된다. 하지만 금의 경우 다른 원소에 비해 단가가 비싸 원가 압력이 심해지므로 이를 회피하기 위해 다양한 도금 공정 기술[1-4]이 개발되고 있다. 이 중 니켈-텅스텐 혼합도금[5-7]의 경우 제품의 경도, 스크래치성, 내식성이 우수한 도금층 확보가 가능하고 이에 따라 금 도금층을 줄일 수 있는 효과적인 방법으로 도금 방법이 새롭게 제시되고 있다. 하지만 이러한 복합 도금 공정액의 경우 각각의 금속에 대한 도금 용액 농도를 정확하게 맞추지 못할 경우 도금 품질이 좋지 않게 되므로 이를 정확하게 유지하기 위한 시스템이 개발 되어야 한다.

이러한 도금 공정액에 대한 농도를 정확하게 측정하기 위한 기술이 지속적으로 개발되었으며, 일부 상용화 되어 있다. 이와 관련한 대표적인 도금 공정액 관리 기술로는 흡광광도법[8-9], 비색법[10]등이 있다. 이 중에서 비색법은 표준용액과 색을 견주어 농도를 결정하는 방법으로 용액에 대한 농도를 실시간으로 측정하는데 어려울 뿐만 아니라 오차가 ±0.2g/l로 농도를 정확하게 측정하는데 한계가 있다. 이에 비해 흡광광도법은 광물이 고유의 특정 파장에 대해 빛을 반사하는 성질을 이용하여 일정 파장에서 시료 용액의 흡광도를 측정하는 방식이다. 이렇게 시료 용액에 일정 파장의 빛을 비추는 것만으로 용액의 특성을 정확하게 파악할 수 있어 실시간으로 용액 내 특정 광물의 농도를 정확하게 파악할 수 있다.

이에 본 논문에서는 니켈-텅스텐 혼합도금 공정액에 있어 혼합도금 공정액의 농도를 정확하게 제어하기 위한 센서 개발 및 용액 제어 시스템을 제안한다. 이를 위해 먼저 혼합도금 공정액 농도를 실시간으로 정확하게 측정할 수 있도록 흡광광도법을 기반으로 한 니켈-텅스텐 센서 개발 및 센서에 대한 성능을 평가하였다. 또한 이 센서를 기반으로 니켈-텅스텐 혼합 공정액에 대한 농도를 정확하게 제어할 수 있는 시스템을 제안하며 농도 실험을 통해 이를 검증하였다.

## 2. 시스템 설계

### 2.1 혼합도금 공정액 센서 모듈 설계

흡광광도법을 이용하여 혼합도금 공정액의 농도를 정확하게 측정하기 위해서는 분광광도계를 통한 니켈 및 텅스텐 각각에 대한 흡수 파장 대역을 추정할 필요가 있다. 이를 위해 니켈-텅스텐 혼합용액에 대한 광 흡수율을 분광광도계를 이용하여 그림 1과 같이 측정하였다. 그림 1에서는 산업 현장에서 적용하고 있는 니켈 및 텅스텐 농도를 기준으로 하여 니켈 농도 5g/l, 텅스텐 농도 50g/l를 기준으로 광 흡수율을 측정하였다. 혼합용액에 대해 분광광도계를 이용하여 측정을 수행한 결과 225nm-325nm, 375-425nm, 625-675nm 대역의 데이터가 추출되었다. 이 중 225-325nm 대역은 금속 농도에 따른 포화현상이 일어나는 모습을 확인할 수 있었다.

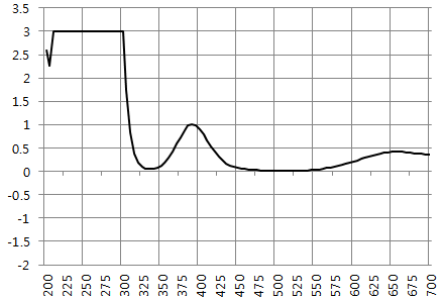
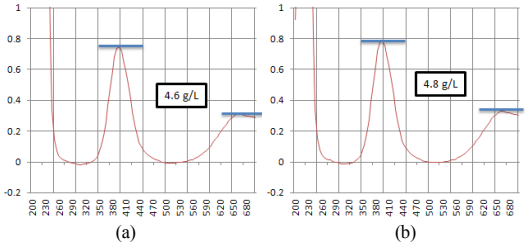



Fig. 1. Spectrophotometer results for nickel-tungsten mixed solution

그림 1의 분광광도계에 의한 혼합도금액의 광 흡수율을 기반으로 각 금속에 대한 간섭 현상을 파악하기 위해 니켈 및 텅스텐의 농도를 변화시켜 각 금속에 의한 간섭 현상에 대한 확인을 하였다. 각 금속 농도 변화에 따른 간섭결과는 그림 2와 같다. 그림 2에서는 니켈에 대한 농도 변화를 기반으로 니켈과 텅스텐의 간섭 현상을 파악하였다.




(a) (b)

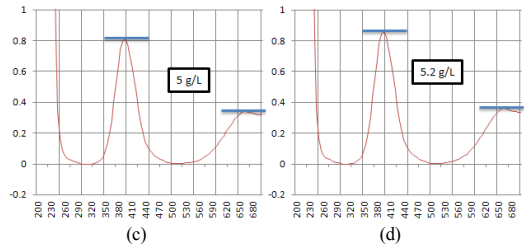



Fig. 2. Spectrophotometer results according to nickel concentration change
(a) 4.6g/l (b)4.8g/l (c) 5.0g/l (d) 5.2g/l

그림 2를 기초로 니켈에 대한 광 흡수구간은 크게 2개 구간이 존재하며 본 논문에서의 혼합 도금 공정액 센서 개발을 위해 니켈에 대한 파장대역을 625-675nm로 선정하였고, 텅스텐에 의한 광 파장대역을 225-325nm로 선정하였다. 이에 위 그래프 결과를 기초로 니켈의 경우 광원을 650nm 적색 LED로 구성하였으며, 텅스텐의 경우 데이터의 포화 현상을 해소하기 위해 310nm Ultra UV LED를 선정하였다.

이제 외부 환경 영향을 최소화 할 수 있고 광원에 따른 데이터 간섭을 최소화 할 수 있도록 혼합도금 공정액 센서를 설계하였다. 그림 3은 혼합도금 공정액용 센서 하드웨어 및 실제 개발된 센서이다.

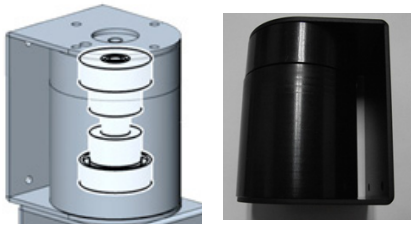


Fig. 3. Sensor for mixed solution

그림 3에서 센서는 용액이 밖으로 세는 부분을 방지하기 위해 센서의 입구와 출구에 방수 처리하였으며, 베르누이 방정식에 입각하여 센서가 측정되는 부분을 좁게 형성하여 용액 내 노폐물이 쌓이는 등의 문제점을 해결하면서 일정 유속으로 지속적으로 통과할 수 있도록 구성하였다.

그림 3의 센서에 대해 각 용액의 농도를 측정하기 위한 내부 배치 및 센서 데이터 취득 구조를 그림 4와 같이 나타내었다. 그림 4에서 적색 LED와 수광부, Ultra UV LED와 수광부가 석영관을 중심으로 쌍으로 배치되어 있다. 또한 이들 센서 사이에 온도 센서를 배치하여 센서 데이터에 대한 온도 보상이 가능하도록 센서 모듈을 구축하였다. 이에 이렇게 구축된 혼합도금 공정액용 센서에 펌프모터를 통해 니켈-텅스텐 혼합도금 공정액을 지속적으로 흘리면 본 논문에서 제시된 센서가 지속적으로 농도를 측정할 수 있도록 하였다. 이때 센서 데이터에 대해 간섭을 최소화하기 위해 그림 5와 같이 센서 데이터에 대한 시간 분배를 통해 센서 데이터를 측정할 수 있도록 하였다.

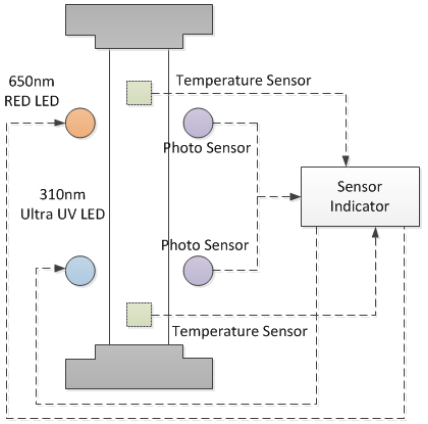



Fig. 4. Sensor mimetic diagram

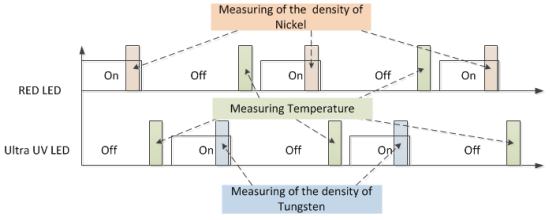



Fig. 5. Timing chart for measuring of the density of the mixed solution

## 2.2 혼합도금 공정액 제어 시스템 설계

이제 본 논문에서 제시한 센서 모듈을 기초로 혼합도금 공정액 제어기를 그림 6과 같이 구성하였다.

그림 6에서 일반적으로 도금 공정액을 담아놓는 대형 수조가 있으며, 각 도금 공정액의 농도를 조절할 수 있도록 구성된 소형 수조들로 이루어져 있다. 이에 먼저 펌프모터를 이용하여 대형 수조에 담겨져 있는 혼합도금 공정액을 관리 시스템으로 옮긴다. 이때 필터를 통해 혼합도금 공정액 내 불순물을 제거한다. 이렇게 필터링 된 혼합도금 공정액에 대해 일차적으로 도금 공정액의 온도,

pH를 측정하여 도금액의 상태를 파악한다. 그리고 도금 공정액을 제안된 센서로 보내는 데 문제가 없을 경우 제안된 센서를 통해 니켈 및 텅스텐의 농도를 측정하도록 구성하였다. 이러한 정보는 100ms 단위로 제어기 내로 전송하게끔 하여 현재 도금 공정액 내 니켈과 텅스텐 농도가 각각 최적 도금 농도와 차이가 있을 경우 이에 상응하여 니켈, 니켈 첨가물, 텅스텐, 텅스텐 첨가물농도 제어를 수행하였다.

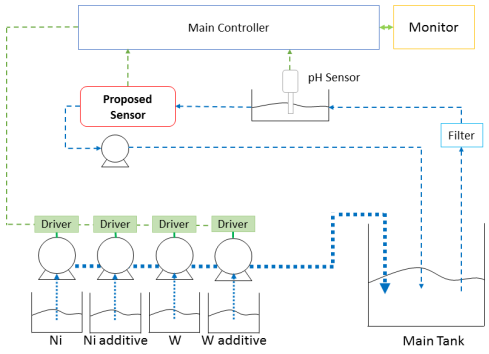



Fig. 6. Controller for nickel-tungsten mixed solution

이 때 혼합도금 공정액 제어기에 있어서 기본적인 제어 알고리즘은 PID로 구현하였으며 니켈과 텅스텐 용액의 농도 제어는 각각의 용액에 대한 약품공급 펌프를 각각 제어하므로 용액의 농도에 따른 각각의 펌프 조절이 필요하다. 또한 본 논문에서의 시스템은 농도가 높아지게 될 경우 도금 과정에서의 각 금속 사용으로만 농도 상태를 줄일 수 있으므로 제어 시 시스템의 오버 슈팅이 일어나지 않도록 제어가 이루어져야 하며, 정상상태 오차를 최소화 하여야 하므로 이러한 상황에 맞춰 제어기 이득값을 조정하였다.

## 3. 도금 공정액 제어 실험결과

### 3.1 도금 공정액 센서 모듈 성능 평가

니켈-텅스텐 혼합도금 공정액에 대한 제어 실험을 수행하기 위해 먼저 자체적으로 개발한 혼합도금 공정액 센서의 성능을 분석 제어가 가능한지 여부를 검증하였다. 이를 위해서 먼저 니켈-텅스텐 혼합도금에 대해 텅스텐 농도를 고정한 후 니켈 농도를 변화시킨 후 산업체에서 요구하는 성능이 나오는지를 검증하였다. 또한 니켈과 텅스텐 농도를 반대로 변환시켜 업체에서 요구하는 센서 성능이 나오는지도 검증하였다. 이러한 실험을 수행하기 위해 니켈-텅스텐 혼합도금 공정액 제어 시스템을 그림 7과 같이 구현하였으며 이에 대한 사양은 표 1과 같다.

먼저 텅스텐 농도를 33g/l로 고정한 후 니켈 농도를 5.5g/l에서 6.7g/l로 변화시키면서 센서의 성능을 실험하였다. 이 때 니켈 농도는 산업체 및 한국화학융합시험원에서 검증한 용액을 기준으로 하였다. 하지만 Ni 용액의 농도를 맞추는 과정에서 대부분 사람의 수분석기법에 의존하여 용액의 농도를 정확하게 측정하는 데는 한계가 있다. 이에 산업체 및 한국화학융합시험원 용액 수분석 분석값을 비교 검토하였으며, 이를 통해 본 실험에서 적용된 용액에서의 니켈 용액의 농도는 각각 5.51g/l, 6.1g/l, 6.49g/l로 판별되었다.

Fig. 7. Management System for nickel-tungsten mixed solution

Table 1. Specification of management system for nickel-tungsten mixed solution

| Item | Spec. |
|---|---|
| Controller Processor | ATmega2560 |
| LED | RED : 650nm<br>Ultra UV : 310nm |
| Photo Sensor | monolithic Silicon IC<br>300nm-100nm |
| Pump Motor | In : 50Watt/220VAC<br>Out : 200Watt/220VAC |

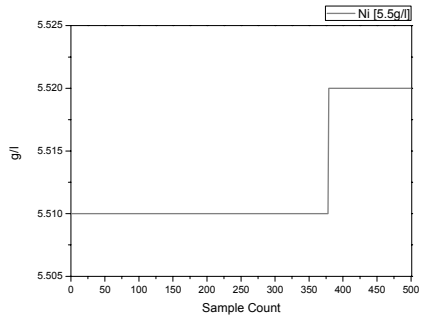



Fig. 8. Sensor Performance when the nickel density is 5.51g/l

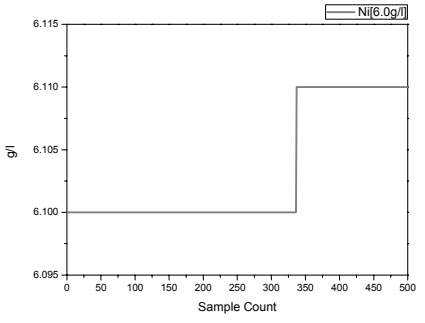



Fig. 9. Sensor Performance when the nickel density is 6.1g/l

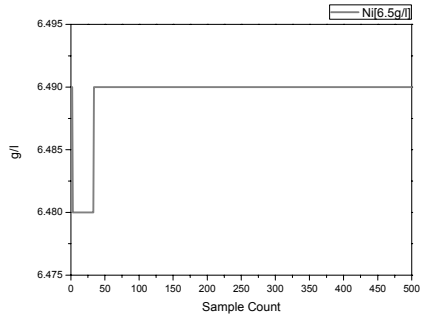



Fig. 10. Sensor Performance when the nickel density is 6.49g/l

그림 8-10을 통해 니켈 농도 변화에 따른 혼합도금 공정액에 따른 데이터를 분석한 결과 그림 8의 니켈 농도 5.51g/l에 대해 최소값 5.51g/l, 최대값 5.52g/l. 평균 5.5124g/l로 최대 오차 +0.01g/l가 나왔으며, 그림 9의 니켈 농도 6.1g/l에 대해서는 최소값 6.1g/l, 최대값 6.11g/l, 평균 6.1033g/l로써 최대 +0.01g/l의 오차가 발생하였다. 또한 그림 10의 6.49g/l의 용액에 대해 최소값 6.48g/l, 최대값 6.49g/l, 평균 6.4894g/l로 -0.01g/l의 최대오차가 발생함을 알 수 있었다. 이를 통해 본 센서의 경우 용액에 따른 오차가 최대 ±0.01g/l가 되며 산업체에서 요구하는 오차범위인 ±0.02g/l내에 들어옴을 파악할 수 있었다.

이제 이와 동일한 방법으로 니켈 농도를 6.7g/l로 고정한 상태에서 텅스텐의 농도를 각각 20g/l, 25g/l, 30g/l로 하였을 경우에 센서의 성능을 실험을 통해 검증하였다. 이때도 산업체 및 한국화학융합시험원에서 용액의 농도를 수분석기법을 통해 서로 검증하였다. 이에 실제 실험용액에 대한 농도를 수분석기법을 통해 검증하였을 경우, 각각 18.98g/l, 25.94g/l, 29.86g/l로 나타났다.

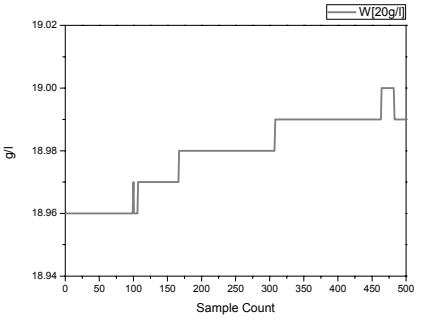



Fig. 11. Sensor Performance when the tungsten density is 18.98g/l

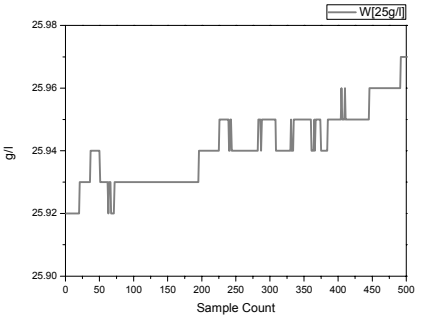



Fig. 12. Sensor Performance when the tungsten density is 25.94g/l

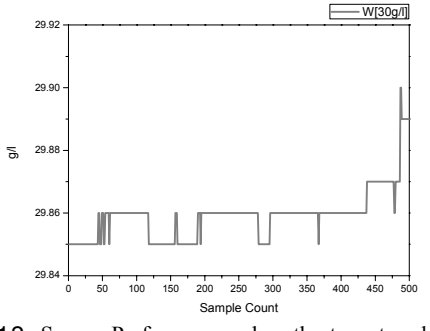



Fig. 13. Sensor Performance when the tungsten density is 29.86g/l

그림 11-13을 통해 텅스텐 농도 변화에 따른 센서 데이터를 검증해 보았을 때 그림 11에서의 텅스텐 농도 18.98g/l에 대해 최소값 18.96g/l, 최대값 19.00g/l 평균 18.979g/l, 평균 18.979g/l로써 최대 오차는 ±0.02g/l로 나타났다. 그림 12에서 텅스텐 농도가 25.94g/l일 때 최소값은 25.92g/l, 최대값 25.97g/l, 평균 25.941g/l로써 최대오차는 0.03g/l이었다. 그림 13에서 29.86g/l용액에 대한 센서 오차는 최소 29.85g/l, 최대 29.90g/l 평균 29.859g/l로써 최대 오차는 0.04g/l로 나타났다. 이를 통해 본 논문에서 개발된 센서에서 텅스텐 최대 오차는 0.04g/l로 산업체에서 요구하는 ±0.05g/l를 만족하여 본 센서를 이용하여 도금공정액 용액 농도를 측정하는데 문제가 없음을 파악할 수 있었다.

### 3.1 도금 공정액 센서 모듈 성능 평가

이제 본 논문에서는 본 논문에서 제시된 센서를 기초로 용액에 대한 제어를 수행하였다. 본 논문을 통해 개발된 센서를 기초로 혼합도금 공정액 농도 제어 성능을 분석하였다. 제어는 니켈과 텅스텐에 대해 제어를 수행하였으며, 그림 14는 니켈에 대한 제어기 사용 전 및 제어기 사용 후의 실험결과이다.

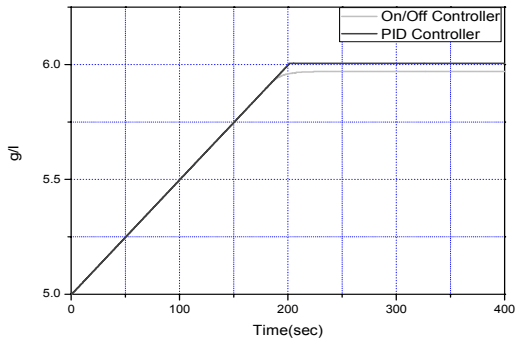



Fig. 14. Comparing control result of nickel concentration when proposed controller applied or not.

그림 14에서는 용액의 농도가 현재 5.0g/l인 시점에서 용액 농도를 6.0g/l으로 변경하였을 경우의 상태를 나타내었다. 기본적으로 장비를 설정하였을 때 합성도금 용액 중 니켈의 농도 조절은 10g/l의 니켈용액으로 가능하며 니켈 농도를 낮추는 부분은 도금으로 인한 농도감소만 가능한 상태이다. 또한 펌프의 성능으로 인해 최대 분당 0.3g/l의 농도 증가가 가능한 상황이므로 이러한 상황에 맞춰 제어를 실시하였을 경우 On/Off 제어만으로 프로그램을 구성하였을 경우 정상상태 오차가 0.03g/l가 나오게 되나 PID제어기를 구성하였을 경우 최대 0.01g/l의 오차가 나와 0.02g/l의 정상상태 오차가 개선됨을 알 수 있었다. 이와 마찬가지로 텅스텐에 대한 제어 성능을 그림 15에 나타내었다.

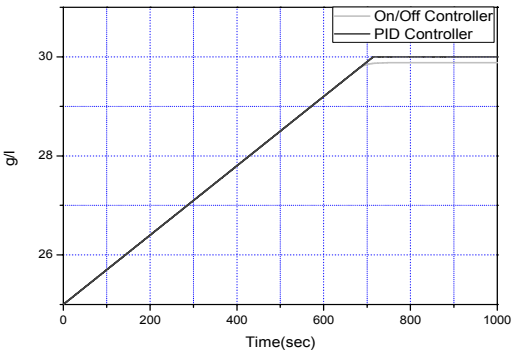



Fig. 15. Comparing control result of tungsten concentration when proposed controller applied or not.

그림 15에서 텅스텐의 경우 제어를 수행하지 않았을 경우 0.116g/l의 오차가 발생하였으나 제안된 제어기를 적용하였을 경우 0.005g/l의 오차가 발생함으로써 정상상태 오차가 0.111g/l 개선됨을 확인할 수 있었다.

## 4. 결론

본 논문은 니켈-텅스텐 혼합 도금 공정액에 대해 혼합상태에서 각 공정액에 대한 농도를 정확하게 측정할 수 있는 센서를 개발하였다. 혼합도금 공정액 센서에서 니켈에 대한 센서의 측정오차는 최대 0.01g/l의 오차가 발생하였으며, 텅스텐에 대한 센서 측정오차는 0.04g/l가 발생하였다. 이는 산업체에서 허용하고 있는 니켈 센서의 성능인 ±0.02g/l, 텅스텐 센서의 ±0.05g/l의 최대 허용 오차를 모두 만족함을 의미한다. 또한 이렇게 개발된 센서를 기초로 혼합도금 공정액에서의 각 도금 공정액에 대한 실시간 제어를 수행하였다. 본 논문을 통해 기존의 도금 공정액 관리 시 수행했던 On/Off 제어에 비해 실시간 PID 제어를 수행함으로써 목표치 대비 니켈의 경우 0.02g/l만큼의 정상상태 오차가 개선되었으며, 텅스텐의 경우 0.111g/l의 정상상태 오차가 개선되어 이를 이용한

보다 정밀한 혼합도금 공정액 제어 시스템을 구축할 수 있었다.

향후 도금 공정액 제어 시 발생하는 용액 및 환경 변화에 따른 도금액 교정 시스템 구축이 필요하며, 이를 위해 현재 적용하고 있는 흡광광도법을 이용한 도금 공정액 농도 측정뿐만 아니라 습식법 및 전기화학법을 혼용한 측정 장치에 대한 개발이 요구된다. 또한 환경 변화에 따른 농도를 정확하게 추정하기 위한 지능 알고리즘 개발이 요구되며, 퍼지 알고리즘 등을 적용할 경우 온도환경 및 용액 사용에 따른 환경 변화를 정확하게 인지하여 이에 따른 정확한 제어가 가능해질 것이다.

## References


[1] Xin-juan Wang, Gang YU, Yue-jun Ouyang, Xaio-mei He, Jun Zhang, and Li-yuan Ye, "One-step pickling-activation before magnesium alloy plating", Trans. of Nonferrous Metals Society of China, pp.504-510, April, 2009.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S1003-6326(08)60303-9

[2] Hiroyuki Fukuda, "Organic Solderability Preservative for Lead-free Soldering", Journal of the Surface Finishing Society of Japan, Vol 59, pp.597-601, 2008.
DOI: http://dx.doi.org/10.4139/sfj.59.597

[3] Basker Veeraraghvan, Hansung Kim, and Branko Popov, "Optimization of electroless Ni–Zn–P deposition process: experimental study and mathematical modeling", Electrochimica Acta, pp.3143-3154, 2004.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2004.01.035

[4] Yedong He, Dezhi Li, Deren Wang, Zhaoen Zhang, Huibin, Qi, and Wei Gao, "Corrosion resistance of Zn-Al Co-cementation coatings on carbon steels", Materials Letters, pp. 554-559, 2002.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S0167-577X(02)00551-7

[5] M. L. Holt and L. E. Vaaler, "Electrolytic reduction of aqueous tungstate solution", Journal of the Electrochemical Society, pp. 50-58 1948.
DOI: http://dx.doi.org/10.1149/1.2773824

[6] Jesik Park, Goojin Jeong, Youngjun Kim, Kijae Kim, and Churl Kyung Lee, "A Study on Corrosion Resistance and Electrical Surface Conductivity of an Electrodeposited Ni-W Thin Film", Journal of Kor. Inst. Surface Engineering, Vol 44. No. 2, pp.68-73, 2011.
DOI: http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2011.44.2.068

[7] Wonbaek Kim, Churl Kyung Lee, Jae-Chun Lee and Changyyoul Suh, "Effect of Current Density on the Crystal Structure of Ni-W Alloys Prepared by Electrodeposition", Korea Journal of Materals Research, Vol. 8, No. 10, pp.898-904. 1998.

[8] M. Blanco, J. Coello, H. Iturriaga, S. Maspoch, and E. Bertran, "Simultaneous Spectro- photometric Determination of Zinc(II) and Nichel(II) with 1-(2-Pyridylazo)-2-Naphthol", Mikrochim. Acta, pp.53-59, 1992.
DOI: http://dx.doi.org/10.1007/BF01240371

[9] Dasari Rekha, Jengiti. Dilip Kumar, Bellum Jayaraj, Y. Lingappa, and Pattium Chiranjeevi, "Nichel(II) Determaination by Spectrophotomery coupled with Preconcentration Technique in Water and Alloy Samples", Bull. Korean Chem. Soc. Vol. 28, No. 3, pp.373-378, 2007.
DOI: http://dx.doi.org/10.5012/bkcs.2007.28.3.373

[10] Gwanjo Jeong, Bumsu Jo, Mahnshik Song, Hyeon Park, Jonggyu Lee, and Youngjune Choi, "Conformity Assessment of Color Measurement Methods", Journal of Kore Society Environment Engineering, pp.442-448, 2013.



**공 정 식(Jung-Shik Kong)** **[정회원]**

- 1998년 2월 : 인하대학교 자동화공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 인하대학교 자동화공학과 (공학박사)
- 2007년 3월 ~ 2009년 2월 : 대덕대학교 로봇과 전임강사
- 2009년 3월 ~ 현재 : 인덕대학교 기계설계과 조교수

<관심분야>
지능제어, 재활공학, 지능형 로봇 및 제어, 센서 계측