

도금공정에서의 세척수 제어에 관한 연구

김기준

시립인천전문대학 제어계측과

A Study on the Rinsing Control in the Gilding Process

Ki-Joon Kim

Department of Control & Instrument Eng., Incheon City College

요 약

도금에 따른 공업용수의 사용량이 단순히 PCB의 세척만을 위한 세척수 투입으로 인하여 도금 전 과정의 처리 비용에 비하여 과도하게 사용됨에 따라 도금에 소모되는 실제 비용보다는 오히려 공업 용수의 사용량과 같은 부가 비용으로 산업현장에 많은 부담이 되고 있다. 따라서 제조 산업의 경제적 비용 부담은 기하급수적으로 증가하고 결국 생산 단가의 상승으로 이어진다. 따라서 본 연구에서는 도금 공정에서 사용되는 세척 작업시 산.알카리에 따른 수소 이온 농도(H+)와 수산 이온농도(OH+)를 제어 하기위한 방법으로 각종 제어기법을 이용하여 최적의 제어를 설계하고자 하였으며, 이 결과는 세척수를 효율적으로 투입하여 귀중한 수자원을 절약함은 물론 생산 단가를 낮추어 경쟁력에 기여할 것으로 사료된다.

1. 서 론

도금 공정은 금속의 표면이나 비금속표면에 다른 금속을 사용하여 피막을 만드는 공정으로서, 처리방법으로는 전기도금, 화학도금, 용융도금, 진공도금, 침투도금, 이온도금 등이 있다. 최근 들어 이 공정은 컴퓨터분야를 필두로 통신기기 및 계측기 등의 산업용 전자기기 등에 광범위하게 사용되고 있는 PCB를 제조하기 위한 기본 기술 분야로 성장하였다. 그러나 도금에 따른 공업 용수의 사용량이 단순히 PCB의 세척만을 위한 세척수 투입으로 인하여 도금 전 과정의 처리 비용에 비하여 과도하게 사용됨에 따라 도금에 소모되는 실제 비용보다는 오히려 공업 용수의 사용량과 같은 부가 비용으로 산업현장에 많은 부담이 되고 있다(공업용수 및 폐기 처리 비용은

선진국의 2배 이상임). 따라서 제조 산업의 경제적 비용 부담은 기하급수적으로 증가하고 결국 생산 단가의 상승으로 이어진다.

이에 본 연구에서는 도금 공정에서 사용되는 세척 작업시 산.알카리에 따른 수소 이온 농도(H+)와 수산이온농도(OH+)를 제어 하기위한 방법으로 각종 제어기법을 이용하여 최적의 제어를 설계하고자 하였으며, 이 결과는 세척수를 효율적으로 투입하여 귀중한 수자원을 절약함은 물론 생산 단가를 낮추어 경쟁력에 기여할 것으로 사료된다.

2. 도금 공정의 제어

도금공정은 크게 나누어 전처리공정, 도금공정 후처리공정의 3 단계로 구성되며 이들 각각의 공정사이에는 다음 공정에의 영향을 최소화하기 위

한 세척작업의 수세공정이 첨가된다. 도금작업의 중심공정인 도금공정은 제품의 사양에 따라 한 개 이상의 단위 도금공정이 순차적으로 실시되는 것이 일반적이다.

이러한 공정에서 발생하는 폐액 혹은 폐수는 수산화 침전법으로 일컬어지는 화학적방법에 의해 처리되는 것이 일반적이고 함유된 성분의 종류 및 농도에 따라 산알카리 폐수, 시안 폐수, 크롬 폐수 및 기타(특수) 폐수로 계통별로 구분하는 것이 원칙이고 가장 경제적인 방법이다.

기존의 도금공정에 따르는 환경문제의 대응개념은 이상과 같이 발생후처리(EOP; End Of Pipe)를 기본으로 하고 있으나 화학적 약품처리 기술의 근간이 되는 수산화물침전법은 폐수중의 함유성분별로 정확히 분리되어야 하는 점과 처리 후에 발생하는 슬러지의 취급문제 등과 향후 규제강화시 그 적용성은 한계에 도달해 있다. 본 연구에서는 도금 공정에서 pH를 유지하기 위하여 끊임없이 세척수를 투입하고 있는 점을 감안하여 그림 1과 같이 세척수의 효율적 투입을 설계하였으며, 세척수 투입에 따른 낭비를 줄임은 물론 정확한 pH값이 제어되도록 제품의 균일한 질을 유지하도록 하였다. 이것은 폐수처리를 줄일 수 있기 때문에 상대적으로 처리 비용을 절감할 수 있다.

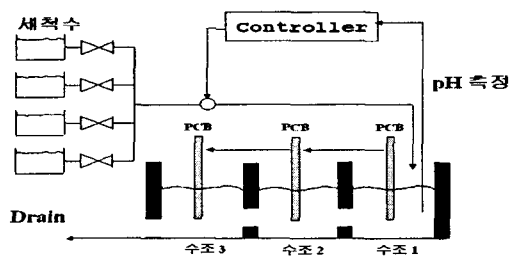


그림 1. 도금 공정의 수처리

3. 제어 기법의 적용

3.1 비선형 추정 제어

선형계의 적응 제어 방법으로서 연구가 되고 있는 선형 추정 제어(LIC: Linear Inferential Control) 기법은 매개 변수를 On-line으로 동조할 수 있으며, 제어 입력에 의한 포화 상태(Saturation)를 방지할 수 있고, Cascade 제어 형태로 설계할 수 있다는 장점이 있다^[6]. 이와 같은 장점들을 그대로 수반하고 비선형계를 제어할 수 있는 제어 알고리즘으로 발전시킨 것이 비선형 추정 제어(NLIC: Nonlinear Inferential Control)이다. 비선형 추정 제어는 공정에 대한 정보들의 사용이 용이하고 단일 매개 변수로써 쉽게 동조가 가능하고, 자기 동조에 의한 제어 알고리즘과 같이 제어기의 성능을 떨어뜨리는 현상이 거의 없다는 것이다. 따라서 1차 출력 변수의 측정이 곤란하거나 시간 지연이 발생하고 적정 곡선의 변화가 급격한 다성분계 pH 공정은 비선형 추종 제어 알고리즘을 이용하여 제어하는 것이 바람직하다.

비선형 추정 제어의 구조는 그림 2와 같이 공정의 응답치와 조작 변수를 이용하여 변화하는 외란값(U)을 예측하는 외란 예측기, 예측된 외란값과 제어기에 의하여 주어진 조작 변수(M)값을 사용하여 공정의 응답값을 계산하는 비선형 모델, 오차의 누적치에 의해 바람직한 모델 출력을 추적하는 Trajectory Generator(TG) 등으로 크게 나눌 수 있으며, TG 필터의 동조는 On-line으로 구해진다.

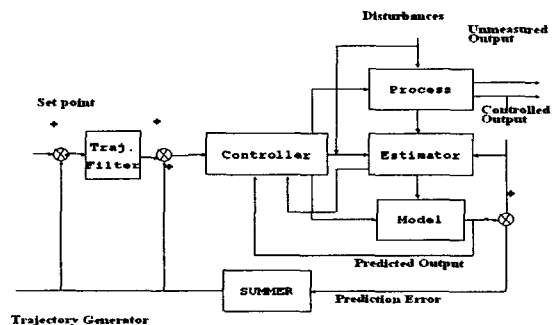


그림 2. 비선형 추종제어

3.2 퍼지 제어

미국의 캘리포니아 대학의 L.A. Zadeh 교수에 의해 시작된 퍼지 이론은 최초에는 비판적인 견해도 많았으나 최근에는 제어 분야에 실용화 됨으로써 제어 응용을 중심으로 정착 단계에 있다. 퍼지 응용화 사례는 현장 지식을 IF-Then ... 의 형식으로 표현되는 비교적 소수의 Fuzzy production rule의 집합으로 기술하여 기억시켜 놓고 운용시에는 그것을 센서 등에서의 관측 정보와 대조하여서 조작량을 결정하는 퍼지 추론(Fuzzy Inference) 방법을 사용하고 있다. 최근 FORTUNE지에 의하면 일본에서 상용화된 퍼지 로직에 대하여 소개하고 있다.

퍼지 제어를 80년대 이후 많이 시도되고 있는 전산기를 이용한 Model Based Control과 공정 제어 측면에서 비교해 볼 때, Model Based Control은 정확한 공정 모델을 사용하는 경우에만 효과적인 제어 응답을 얻을 수 있으나 퍼지 로직 제어는 공정의 수학적 모델에 근거하지 않고 정성적 상호 관계에 의하므로 공정 제어에 필요한 정성적 모델을 쉽게 유도하여 인간이 사용하는 언어에 의해 제어함으로써 적용 대상이 광범위하다는 것이다.

4. 전산기 모사

4.1 퍼지 제어

퍼지 제어의 대상으로 택한 pH 공정의 평형 상태의 동특성식은 다음과 같다.

$$V \frac{dC_{(\alpha, \beta)}}{dt} = Q C_{(\alpha, \beta, P)} - (Q + m) C_{(\alpha, \beta)} \quad (1)$$

$$V \frac{dN^+}{dt} = Q C_{(\text{Gamma})} - (Q + m) N^+ \quad (2)$$

여기에서 $C_{\alpha\beta} = [C_{\alpha 1}, C_{\beta 1}, C_{\beta 2}]^T$

$C_{\alpha\beta P}$: 반응기에 흘러 들어가는 $C_{\alpha\beta}$ 의 농도

Cr : 반응기로 흘러 보내는 강염기의 농도

m : 반응기로 흘러 보내는 강염기의 흐름속도

Q : 반응기로 주입되는 원료의 흐름속도

V : 반응기의 용적

수소 이온 농도에 대한 방정식은 다음과 같이 얻을 수 있었다.

$$H^+ + N^+ - \frac{K_v}{H^+} + \frac{K_{b1}(H^+)}{K_v + (H^+)K_{b1}} C_{beta1} + \frac{K_{b2}(H^+)}{K_v + (H^+)K_{b2}} C_{Beta2} - \frac{K_{Alpha1}}{(H^+) + K_{a1}} C_{alpha1} = 0 \quad (3)$$

대부분의 퍼지 제어 알고리즘들은 한개의 계량 변수에 대해 한개나 그이상의 멤버쉽 함수값을 사용하고 계의 특성에 따라 여러개의 제어규칙을 정하여 조작량의 Look-Up 표를 여러개 만들어 입력 변수의 변화나 출력 오차에 따라 제어하게끔 설계되어 있다. 그러나 이와 같은 방법들은 조작량을 구하는데 시간이 많이 소모되며 계의 특성이 변할 때 마다 제어 알고리즘을 다시 설계해야하는 등의 단점이 있으므로 범용적으로 사용할 수 있는 제어 규칙을 만들고 그에 따른 멤버쉽 함수를 일정화 시켜서 어느 계에서도 사용할 수 있는 퍼지 추론이 필요하다. 본 연구에서는 제어 규칙을 표 1과 같이, 멤버쉽 함수 값을 표 2와 같이 각각 고정 시키고 단지 전단계의 출력 값과 조작량에 따른 Scaling Factor 만을 표 3과 같이 변화시켜 모든 계를 제어하고자 하였다.

C \ E	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PB	PS	NS	NM	NB	NB	NB	NB
PM	PS	PS	NS	NM	NM	NB	NB
PS	PM	NS	ZO	NS	NS	NM	NB
ZO	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
NS	PB	PM	PS	PS	ZO	NS	NM
NM	PB	PB	PM	PM	PS	NS	NS
NB	PB	PB	PB	PB	PM	PS	NS

<표 1> 제어 규칙

<표 2> 제어 규칙에 의한 멤버십 함수의 값

Error (E)	Error Change (C)												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	6	6	6	6	6	6	6	5	4	3	2	2	2
-5	6	6	6	6	5	5	5	4	3	3	2	1	0
-4	6	6	6	5	4	4	4	3	2	2	2	1	0
-3	6	6	5	4	3	3	3	2	1	1	0	-2	-3
-2	6	5	4	3	2	2	2	1	0	-1	-2	-3	-4
-1	6	5	4	3	2	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5
0	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
1	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-2	-3	-4	-5	-6
2	4	3	2	1	0	-1	-2	-2	-2	-3	-4	-5	-6
3	3	2	0	-1	-1	-2	-3	-3	-3	-4	-5	-6	-6
4	2	0	-2	-2	-2	-3	-4	-4	-4	-5	-6	-6	-6
5	0	-1	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-6
6	2	-2	-2	-3	-4	-5	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6

<표 3> Scaling Factors

	0~0.01	0.01~0.1	0.1~
0.0~0.01	0.0005	0.001	0.005
0.01~0.1	0.001	0.005	0.015
0.1~0.3	0.005	0.015	0.05

4.1 결과 및 검토

이와 같은 퍼지 제어 알고리즘에 의한 pH 공정의 제어 응답은 전년도에 같은 공정에서 시물레이션한 비선형 추정제어(NLIC)는 그림 3에, 그리고 PI 제어기의 응답 특성은 그림 4에, 그리고 퍼지제어기의 응답 특성은 그림 5에 각각 도시되

었다. 그림에 나타난 결과는 주입 농도가 변할 때 Setpoint가 7 인 시스템을 가정한 결과이며, PI 제어기의 Integration Time은 3초, Propotional Gain은 0.046이었다. 전산기 모사 결과, FLC가 Setpoint 근처에서 NLIC 보다 진동이 있었지만 전체적으로는 더욱 빠른 응답 시간을 얻는 것을 알 수 있었으며, FLC와 NLIC 두 알고리즘이 모두 만족할 만한 제어 응답을 얻었다.

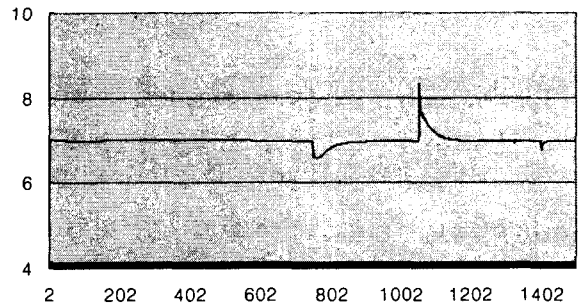


그림 3. NLIC 제어기의 응답특성

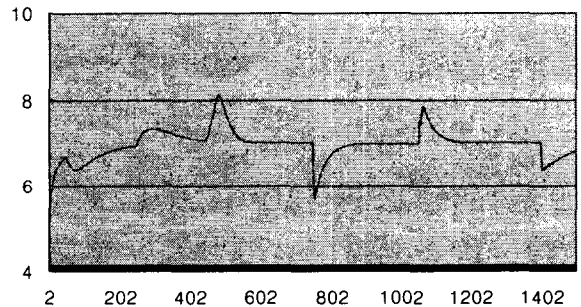


그림 4. PI 제어기의 응답특성

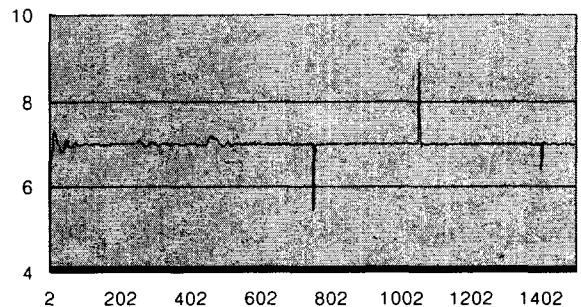


그림 5. 퍼지 제어기의 응답특성

5. 결론

다성분계 pH 적정 공정에 퍼지 추론 제어 알고리즘을 적용하여 시험 모사한 결과 비선형 추정 제어 방법과 마찬가지로 우수한 제어 응답을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 개발한 알고리즘으로 시스템을 제어할 경우 수학적 모델을 구하기 힘든 어떤 공정에서도 적용이 가능하며, 제어 대상의 변화에도 다른 제어 방법 보다 쉽게 알고리즘을 변화시킬 수 있다는 장점이 있다.

따라서, 인간의 사고와 비슷한 제어 기술인 퍼지 제어 기술을 확보할 수 있었으며, 응용 분야가 전기, 기계 공정 등 모든 분야에서 좋은 효과를 낸 사례가 있고, 작업자의 경험에 의존하는 제어가 대부분인 공정 제어 등에 제어 효과를 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1]Delay, S. and K.F. Gill, "Comparison of a Fuzzy Logic Controller with a P+D Control Law", J. of Dynamic Systems, Meas. and Cont., Vol. 111, 128-137, (1989)
- [2]Lim, M.H., "Implementing Fuzzy Rule-based Systems on Silicon Chips", IEEE Expert, Feb., 31-53, (1990)
- [3]Jutila, P. and A. Visala, "Pilot Plant Testing of an Adaptive pH Control Algorithm Based on Physico Chemical Modeling", Mathematics and Computer in Simulation, Vol. 26, 522-533, (1984)
- [4]Parrish, J.R. and C.B. Brosilow, "Nonlinear Inferential Control", AIChE J., Vol. 34, 633-644, (1988)
- [5]Bernard, J.A., "Use of Rule-based System for Process Control", IEEE Control System Magazine, Vol. 8, No. 5, 3-13, (1988)
- [6]King, P.J. and E. H. Mamdani, "The Application of Fuzzy Control Systems to Industrial Processes", Automatica, Vol. 13, 235-242, (1977)