

## 나선 운동을 이용한 랜덤 적재물의 도금특성

김덕기<sup>a</sup>, 이종항<sup>a\*</sup>

## Plating Characteristics of Random-Loaded Workpiece Through Screw Motion

Duck Gi Kim<sup>a</sup>, Jong Hang Lee<sup>a\*</sup><sup>a</sup> Department of Mechanical Engineering, Korea Polytechnic University

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	27	October	2020
Revised	7	December	2020
Accepted	9	December	2020

## Keywords:

Chemical plating  
Randomly loading  
Screw motion and linear motion  
Plating characteristics  
Design of experiments

## ABSTRACT

The chemical-plating quality of random-loaded small parts depends on the gap control between the parts in the bath. In this study, the plating characteristics for the screw motion of a basket in a bath were analyzed. This motion could be separated into parts for each, and the space for chemical reactions could be created, which improved its quality. The performance of the new technique was verified through experimental design and salt spray tests. The experimental results showed that the main factors that affected quality were temperature and plating solution concentration. In particular, the white rusting generated time of the screw motion method was longer than that of the conventional method.

## 1. 서론

일반적으로 화학도금은 자동차부품, 항공부품, 일반기계부품에 널리 이용된다. 이 화학도금은 주로 제품의 내구성을 향상시키기 위하여 흑색 크로메이트 도금이 수행된다. 또한 이러한 화학도금은 일반적으로 도금액이 담겨있는 탱크에 피도금물을 일정시간 동안 담귀서 화학도금을 수행한다. 소량이면서도 대형의 피도금물은 하나의 피도금물을 하나의 고리에 걸어서 담글 수 있는 장치에서 수행되지만, 대량이면서도 소형의 피도금물은 회전하는 바스켓(basket)을 이용하는 배럴(barrel)식 화학도금장치를 이용하게 된다. 이 배럴식 도금장치는 피도금물들이 회전하는 배럴 안에서 적재되어야 하므로 대량의 피도금물을 적재할 수 있는 공간 확보가 어렵고, 배럴 안에서 피도금물들이 서로 충돌이 일어나서 불량률이 높아진다는 단점을 가지고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 다음과 같은 연구들이 수행되었

다. 최근 김덕기<sup>[1,2]</sup>와 이종항<sup>[3]</sup>은 도금액을 바스켓 바닥에 설치된 노즐을 이용하여 랜덤하게 적재된 피도금물을 부상시켜서 화학도금하는 방법을 개발하였다. 이 연구를 통하여 적절한 부상 압력 하에서는 피도금물들이 자유롭게 부상되어 서로 겹쳐지지 않기 때문에 원활한 화학반응이 가능하다고 보고하였다.

허우석<sup>[4,5]</sup>은 랜덤하게 적재된 피도금물의 도금성능을 향상시키고자 진동을 이용한 화학도금 방법을 제안하였다. 그는 피도금물에 적절한 진동만으로도 화학도금이 가능하다고 보고하였으며, 특히 바스켓의 진동과 도금액의 교반을 동시에 활용하면 도금특성이 대폭 개선된다고 보고하였다.

한편, 본 연구에 참고된 화학도금 조건은 다음의 연구결과를 참고하였다. 이철태와 김수원<sup>[6,7]</sup>은 친환경적인 3가 크로메이트 도금액을 개발하였다. 이 연구는 크롬원을 35~45 g/l의 KCr(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 20~30 g/l의 인산계 화합물인 NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>들을 주성분으로 하는 도금액에 관한 것이다. 이렇게 조성된 3가 크로메이트 도금액을 사용

\* Corresponding author. Tel.: +82-31-8041-0403

E-mail address: ljh@kpu.ac.kr (Jong Hang Lee).

하여 상온에서 pH 값이 2.0~2.2, 침적시간 20~25 sec의 조건에서 화학도금을 수행한 후, 피도금물을 염수분무시험(피도금물의 내식성 시험)을 수행한 결과, 백청이 전체 표면적의 5%가 발생될 때까지 지속시간이 120시간이 걸린다고 보고하였다.

기계적인 도금장치에 대한 연구는 일반적으로 특허로 제시되어 있다. 이 특허들 중에서 본 연구에 참고된 특허<sup>8)</sup>는 회전하는 바렐의 내측에서 외측으로 도금액이 분사되며, 바닥에 설치된 노즐(nozzle)을 통하여 도금액을 분사시키는 기구들로 구성된 도금장치이다. 또한 대량의 피도금물을 랜덤하게 적재한 후 화학도금은 기존의 도금장치는 바스켓(피도금물의 랜덤적재 장소)을 상하직선운동하는 도금장치이었다. 이러한 도금장치는 랜덤하게 적재된 피도금물들이 상하운동할 때 서로 겹쳐짐이 일부 발생되고 도금액의 교반에도 비효율적이기 때문에 도금층의 형성에 방해가 되고 있다.

본 연구에서는 위에서 언급된 문제점들을 고려하여 피도금물들을 랜덤하게 적재시키는 바스켓의 운동을 상하운동에서 나선운동으로 개선하고, 개선된 장치가 기존의 직선운동 장치에 비해 도금층 형성에 보다 효율적임을 보이고자 한다.

또한 개선된 장치에서 각종 도금조건과 특성들을 파악하기 위해 도금층 평가에 널리 사용되는 염수분무시험법(salt spray test, SST)법과 실험계획법(design of experiments, DOE)<sup>9)</sup>을 이용하여 통계적으로 분석하고자 한다.

본 연구의 결과인 나선운동방식을 이용한 도금장치를 활용하여 자동차 분야에서 널리 활용되는 체결용 볼트와 너트류의 부식방지를 위한 도금에 활용하고자 한다.

## 2. 화학 도금 장치

### 2.1 화학 도금 공정

철의 부식 방지를 위한 아연 도금은 가장 일반적인 전처리 공정이다. 그러나 아연은 공기 중에서 쉽게 산화아연 또는 탄산아연 등으로 바뀌어 부식 방지에 효과적이지 못한 단점을 갖고 있다. 따라서 아연의 부식을 방지하기 위한 처리방법으로 아연 위에 크로메이트(chromate) 피막을 형성시키는 방법이 널리 사용되고 있다.

일반적으로 크로메이트 피막(도금층)형성은 Fig. 1과 같은 공정을 거친다. 전처리 공정(pre-treatment)인 아연 도금(Zinc plating)이 선행된 피도금물은 크로메이트 처리공정(chromate treatment)인 “수세 - 활성화 - 크로메이트 도금 - 수세 - 탈수 및 건조”를 거친다.

활성화(질산 약 0.5%) 수세를 거쳐 크로메이트 도금탱크에 침적시킨 피도금물은 강한 산성의 도금액에서 침식과 피막 형성을 마

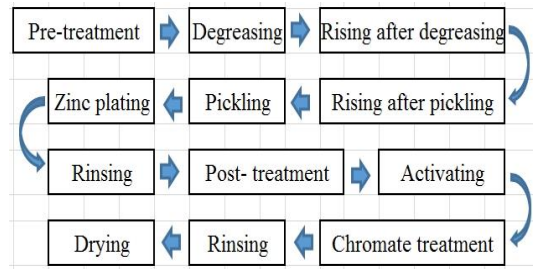


Fig. 1 Procedure of chromate plating

치고 건조 과정을 거치게 되는데 건조 온도가 너무 높으면 과도한 수분 상실로 인한 코팅 층이 파손된다.

균일한 크로메이트 피막은 도금액의 조성과 도금장치의 운동기구들도 중요하지만, 전처리 아연도금의 형성도 상당한 영향을 미치므로 화학도금을 수행하기 전에 전처리 공정이 정밀하게 수행되어야 한다. 크로메이트 피막 형성 직후의 두께는 수  $\mu\text{m}$ 에 이르지 만 건조 공정을 거치면서 수십  $\text{nm}$ 로 얇아진다. 건조 온도와 건조 시간에 따라 피막의 두께가 달라지고, 또한 도금된 표면에 수많은 실금(small crack)이 발생되어 피도금물의 내식성이 감소되는 원인이 된다.

일반적으로 화학도금 시 피막 두께에 영향을 미치는 인자<sup>6,7)</sup>들은 도금액의 온도와 농도, 피도금물들의 침적시간, 도금액의 산도, 도금액의 교반(농도유지), 그리고 랜덤하게 적재된 피도금물들의 화학반응을 위한 공간 확보<sup>1,4)</sup>이다.

### 2.2 화학 도금 장치의 설계 및 제작

랜덤하게 적재된 피도금물을 화학도금 시키는데 사용되는 장치는 회전하는 배럴장치보다는 원형의 바스켓을 도금탱크 안에서 상하방향으로 운동시키는 방법이 이용되고 있다.

이러한 상하 운동의 바스켓 침적 방식은 피도금물들이 화학반응을 위한 공간 확보와 지속적으로 도금액의 농도를 유지하기 어렵기 때문에 표면에 피막이 균일하게 생성되지 못하는 단점을 가지고 있었다.

Fig. 2는 새로 개발된 나선운동(screw motion)형 도금장치를 보여준다.

Fig. 3은 나선운동형 도금장치의 주요부인 바스켓 안내(guide) 기구로써, 바스켓 안에 랜덤하게 적재된 피도금물들에게 회전 운동과 상하 운동을 조합시켜 나선 운동이 가능하다. 이 가이드는 나선형 모양으로 외부 테두리에 180°로 홈(slot)이 가공이 되어 있다. 그리고 바스켓이 상하운동이 가능하도록 내부에 클램핑 실린더가 설치되어 있다.

Fig. 4는 소형의 수많은 피도금물들을 랜덤하게 적재하여 한 번에 일괄적으로 도금작업하기 위한 바스켓이다. 이 바스켓은 산도

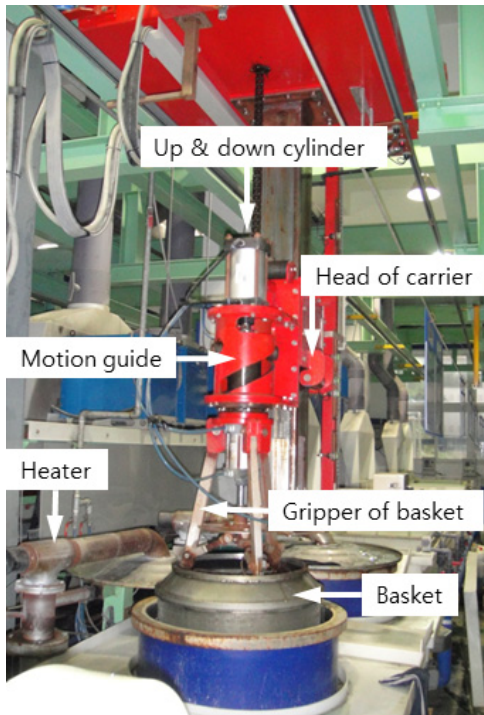


Fig. 2 Experimental setup of new chemical plating system

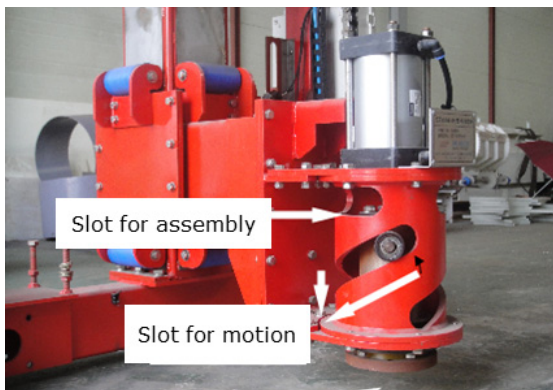


Fig. 3 A guide with slots for the screw motion in the bath

가 높은 화학도금액을 사용하기 때문에 내부식성 재료를 사용한다. 또한, 원형의 바스켓은 많은 구멍들이 가공되어 있다. 이는 바스켓이 나선 운동할 때 이 구멍들을 통하여 도금액이 유동하도록 하여 피도금물들 사이에서 도금액의 농도를 유지해주는 교반작용도 동시에 수행되어 균일한 피막 형성에 도움이 된다. 또한, 도금 탱크 안에서 도금액이 유동할 때 바스켓으로부터 피도금물들도 함께 빠져나오지 않도록 바스켓 원주면에 있는 구멍치수는 피도금물의 최소치수보다는 작게 설계되어 있다. 또한, 임의의 위치에 랜덤하게 적재되어 있는 피도금물들의 표면에서 화학반응에 사용되도록 도금액이 원형 바스켓의 모든 방향에서 바스켓의 중심부까지 균일하게 도달할 수 있도록 구멍치수와 구멍위치가 서로 대칭이 되도록 설계되어 있다.



Fig. 4 A basket with several holes for agitation of plating solution

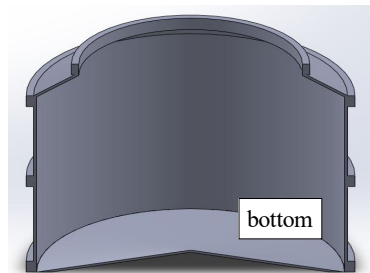


Fig. 5 A basket inside geometry on the bottom with cone to obtain dynamic balance for randomly loaded work

Fig. 5와 같이 바스켓 바닥을 원뿔 형태로 만들어 피도금물들을 적재시키면 나선 운동에서 발생하는 피도금물들의 동적 평형을 빠르게 안정시킬 수 있다.

클램핑 기구는 바스켓의 진동과 집게(gripper)와 바스켓 접촉부의 마찰로 인해 마멸이 증가한다. 이를 방지하기 위하여 우레탄 패드를 사용하였다. 우레탄 패드는 산도가 높은 도금액에 의한 부식이 없으며 강한 인성을 갖추고 있어 기계적인 안전성을 확보할 수 있다. 클램핑 장치의 재질은 STS 304 또는 STS 316으로 제작하였으며, 바스켓의 동적 균형을 고려하여 집게의 개수는 3개로 하였다.

피도금물의 피막 표면에는 무수히 많은 상처와 실금들이 발생되어, 도금층 평가에 이용되는 염수분무시험에서 수명이 낮게 평가되는데 영향을 준다. 또한 바스켓의 안쪽에서는 피도금물과의 마찰로 인하여 바스켓 표면이 마멸과 부식이 빠른 속도로 진행되어 바스켓의 수명을 단축시키는 주요한 원인이 된다.

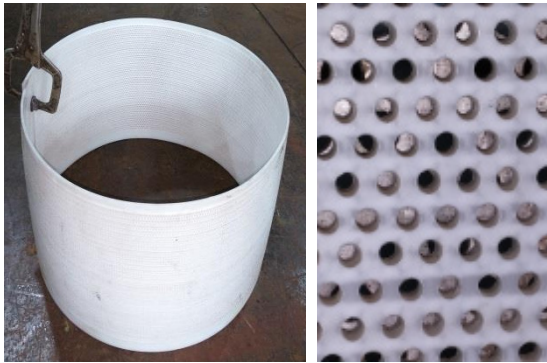


Fig. 6 Inner spacer with protection film and several holes to minimize scratch on surface



Fig. 7 Drying system

Fig. 6은 바스켓과 피도금물들을 보호할 수 있는 보호 필름을 보여준다. 이 보호 필름은 온도와 충격에 강한 폴리프로필렌 (polypropylene)을 바스켓 내피로 사용하였다.

피막형성 공정을 마친 피도금물은 수세와 탈수 공정을 거친 후 Fig. 7과 같은 건조기에서 건조공정을 끝으로 모든 공정이 완료된다. 본 연구에서는 탈수가 진행되는 과정에서 외부로부터 탈수기 내부로 유입되는 공기를 가열하여 건조시킨다. 이는 기존의 일반 공업용 탈수기에 비해 효과적으로 탈수 및 건조작업이 가능하다.

### 3. 실험

#### 3.1 실험조건

실험에 사용된 시편은 일반적으로 사용되는 SS440에 아연도금된 것을 이용하였다. 시편의 제작(아연도금)에 사용된 도금조건은 다음과 같다. 온도 40°C, 농도 120 g/l, 침적시간 40 sec, 산도 pH 2.0이다.

Table 1은 도금에 영향을 미치는 4가지 주요 인자<sup>[6,7]</sup>에 대해 각 인자(factor)의 수준(level)을 낮음에서 높음으로 변화 시키면서 각각의 인자에 대한 도금층 두께를 평가하기 위한 도금조건이다.

Table 2는 실험계획법을 이용하여 도금층 형성에 미치는 영향을

Table 1 Experimental conditions of the main factors for chemical plating performance test

Factors / Level	Low ← Medium → High
Temperature (°C)	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70
Concentration (g/l)	40, 60, 80, 100, 120, 140, 160
Time (sec)	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90
Acidity (pH)	1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4

Table 2 Selected factors and 2 levels for DOE

Factors	Name	High	Low
A	Temperature (°C)	40	20
B	Concentration (g/l)	120	100
C	Time (sec)	50	30
D	Acidity (pH)	2.0	1.6

통계적으로 분석하기 위한 인자와 수준을 나타낸다. 주요 영향 인자는 도금액의 온도와 농도, 피도금물의 침적시간, 그리고 도금액의 산도로 선정하였다. 주요인자 각각에 대한 수준은 일반적으로 실험계획에 널리 이용되는 2가지 수준으로 정하였으므로 총 실험 횟수는  $2^4 \times 3 = 48$ 회가 된다.

또한, 실험계획법 적용의 중요한 전제조건인 실험순서는 미니탭 (Minitab)을 이용하여 Table 3과 같이 랜덤하게 선정하였으며, 반응치(response)인 백청(white rust) 발생될 때까지의 시간도 함께 표기하였다.

#### 3.2 실험방법

염수분무시험은 항온항습 기능이 구비된 Fig. 8과 같은 시험장비에서 수행된다. 분무실의 면적은 0.2 m<sup>2</sup> 이상이며, 노즐에서 분무된 염수가 시편에 직접 떨어지지 않는 구조(간접분사방식)로 되어 있다. 또한, 분무실 덮개는 내부관찰이 가능한 투명 아크릴로



Fig. 8 Equipment of the Salt Spray Test

Table 3 Test results of the screw motion by DOE

Std Order	Run Order	A	B	C	D	Response
15	1	20	120	50	2	98
25	2	20	100	30	2	72
39	3	20	120	50	1.6	82
30	4	40	100	50	2	130
31	5	20	120	50	2	78
20	6	40	120	30	1.6	154
24	7	40	120	50	1.6	178
1	8	20	100	30	1.6	72
41	9	20	100	30	2	72
45	10	20	100	50	2	84
8	11	40	120	50	1.6	180
43	12	20	120	30	2	72
22	13	40	100	50	1.6	152
26	14	40	100	30	2	108
46	15	40	100	50	2	128
3	16	20	120	30	1.6	74
40	17	40	120	50	1.6	170
42	18	40	100	30	2	100
38	19	40	100	50	1.6	170
4	20	40	120	30	1.6	148
48	21	40	120	50	2	180
5	22	20	100	50	1.6	78
34	23	40	100	30	1.6	126
29	24	20	100	50	2	76
32	25	40	120	50	2	180
21	26	20	100	50	1.6	84
37	27	20	100	50	1.6	78
27	28	20	120	30	2	72
2	29	40	100	30	1.6	120
44	30	40	120	30	2	168
16	31	40	120	50	2	174
23	32	20	120	50	1.6	96
13	33	20	100	50	2	80
9	34	20	100	30	2	72
35	35	20	120	30	1.6	72
10	36	40	100	30	2	122
33	37	20	100	30	1.6	60
12	38	40	120	30	2	156
47	39	20	120	50	2	84
14	40	40	100	50	2	146
19	41	20	120	30	1.6	74
36	42	40	120	30	1.6	154
18	43	40	100	30	1.6	108
17	44	20	100	30	1.6	72
11	45	20	120	30	2	72
28	46	40	120	30	2	158
7	47	20	120	50	1.6	84
6	48	40	100	50	1.6	168

구성되어 있다.

시험용 염수는 염화나트륨(NaCl) 시약 1급을 사용하였고, 탈 이온수에 농도  $5 \pm 0.5\%$ 로 조성하였다. 염수의 온도는  $35 \pm 2^\circ\text{C}$ 이고, 산도는 pH 6.5~7.2의 범위로 설정하였고, 염수분무는 자유낙하 방식으로 시편에 직접 분무되지 않게 하였다.

염수분무시험에 의한 도금층 두께의 평가는 일정조건외 온도와 습도 하에서 염수를 피도금물에 분무하면서 백청이 발생하는 시간을 측정하여 도금층 두께를 평가한다. 여기서 백청이라고 명칭을 붙인 것은 피도금물의 표면에 도금된 흑색의 크로메이트가 염수에 의해 부식되면서 흰색의 아연도금층이 관찰되기 때문이다. 또한, 백청의 판단기준<sup>6,7)</sup>은 발생된 백청이 시편 전체표면적의 5%로 설정하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 도금층 형성에 미치는 영향인자

Fig. 9에서 Fig. 12까지는 Table 1의 실험조건을 이용하여 도금층 형성에 영향을 미치는 인자들에 대해 백청발생 시간을 측정된 결과들이다.

이들 실험은 4개의 인자들 중 3개의 인자는 고정값(최대 도금층 두께를 나타내는 백청발생시간이 가장 긴 도금조건)으로 설정하고, 나머지 하나의 인자를 변화시키면서 실험을 수행하였다.

Fig. 9는 도금액의 농도와 피도금물의 침적시간, 그리고 산도를 각각 120 g/l, 50 sec, pH 2.0으로 설정하고, 10°C~70°C 범위의 도금액 온도 변화에 따른 백청 발생 시간(피도금물의 내식성을 의미)을 측정된 결과이다. 그림과 같이 10°C~40°C 범위에서 백청 발생 시간이 급격히 증가하고, 40°C~50°C 범위에서는 최대값이 되며, 50°C 이상의 온도에서는 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 10은 온도 40°C, 시간 50 sec, 산도 pH 2.0로 설정한 후 도금액의 농도 변화에 따른 백청 발생 시간을 측정된 결과이다. 낮은 농도인 40~60 g/l에서는 변화가 거의 없음을 보여주고, 80~120 g/l에서는 급격하게 증가한다. 120~140 g/l 범위에서는 최대값이 되고, 140 g/l을 넘으면 백청 발생 시간도 급격히 감소된다.

Fig. 11은 침적시간의 증가에 따라 백청 발생 시간이 10 sec~40 sec에서는 급격히 증가하고, 40 sec~60 sec에서는 최대값을 보인 후, 그 이후부터는 감소하였다.

Fig. 12는 도금액의 산도(pH)의 변화에 대한 백청발생시간으로, pH 1.8~2.2 사이에서는 안정된 최대의 백청 발생 시간을 가지며, pH 1.6과 pH 2.4에서는 감소한다.

이상의 영향인자들에 대한 실험결과로부터 나선운동을 이용한 도금장치에서 최대의 도금층이 형성되는 도금조건은 다음과 같이

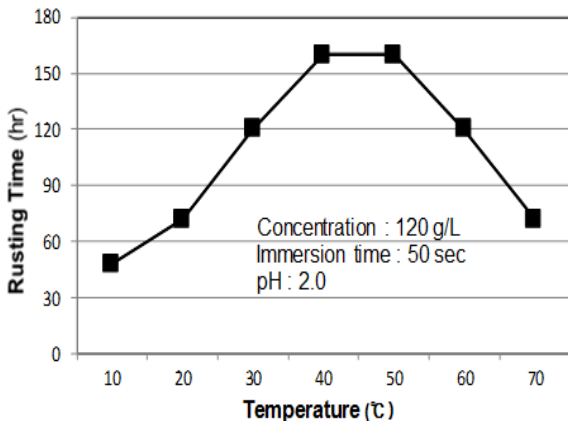


Fig. 9 Rusting time of samples vs. temperature variation

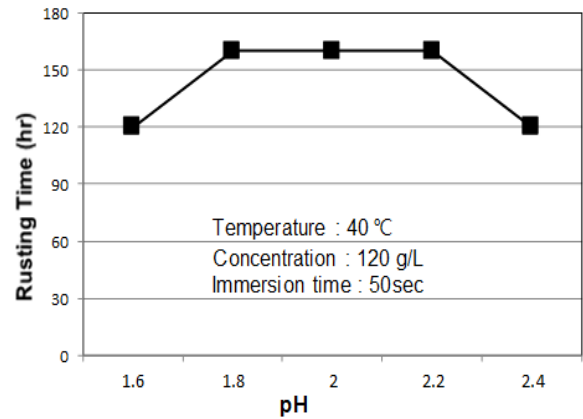


Fig. 12 Rusting time of samples vs. pH variation

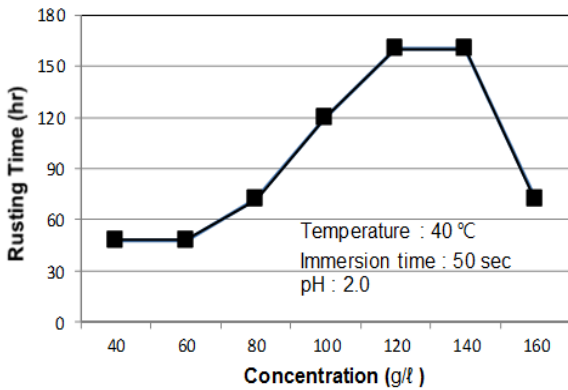


Fig. 10 Rusting time of samples vs. concentration variation

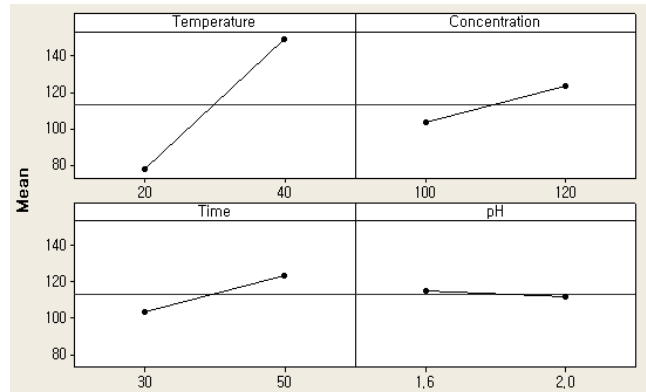


Fig. 13 Main effects of 4 factors (Temperature : 20/40°C, Concentration : 100/120 g/l, Immersion time : 30/50 sec, Acidity (pH) : 1.6/2.0)

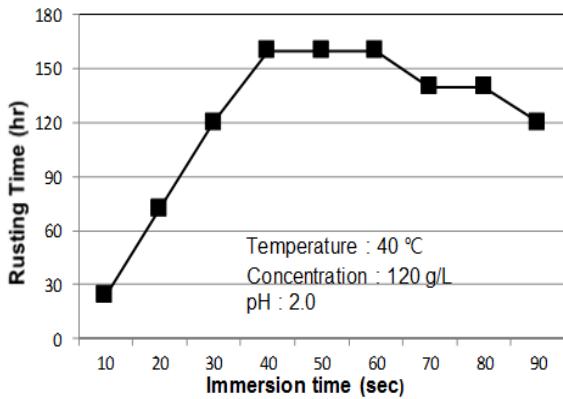


Fig. 11 Rusting time of samples vs. time variation

정리할 수 있다. 즉, 도금액의 온도는 40~50°C, 도금액의 농도는 120~140 g/l, 피도금물의 침적시간은 40~60 sec, 도금액의 산도는 pH 1.8~2.2에서 최대의 도금층이 형성된다고 평가할 수 있다.

#### 4.2 실험계획법에 의한 통계적 분석

Table 3은 랜덤한 실험순서를 만들어 도금한 후 염수분무시험에

서 백청이 발생될 때까지의 시간(Table 3의 response)을 측정하는 것이다. 이러한 반응치는 백청 발생 시간이 길수록 도금층의 두께가 두껍기 때문에 화학도금 후의 성능평가에서 피도금물의 내식성이 증가한다고 판단하는데 이용된다.

Table 3의 반응치와 같이 48회 실험결과를 미니탐을 이용하여 주효과를 분석한 결과가 Fig. 13이다. 이 실험결과로부터 각 수준에 대한 평균 백청 발생 시간의 기울기를 살펴보면, 도금액의 온도가 가장 크고, 도금액 농도와 피도금물의 침적시간은 온도에 비해 기울기가 작지만 산도에 비해서는 크다는 것을 볼 수 있다. 따라서 각 4가지 인자들에 대한 평가는 다음과 같이 판단할 수 있다. 도금액의 온도는 도금층의 형성에 매우 중요하므로 도금실험시 반드시 최적의 온도를 설정해야 하며, 그 다음에는 농도와 침적 시간이다.

따라서 각각의 개별 인자들에 대한 도금실험에서 얻은 결과와 실험계획법이 적용된 통계분석에서 얻은 결과로부터 나선운동과 직선운동 도금장치의 성능비교 실험의 도금조건으로 사용한다.

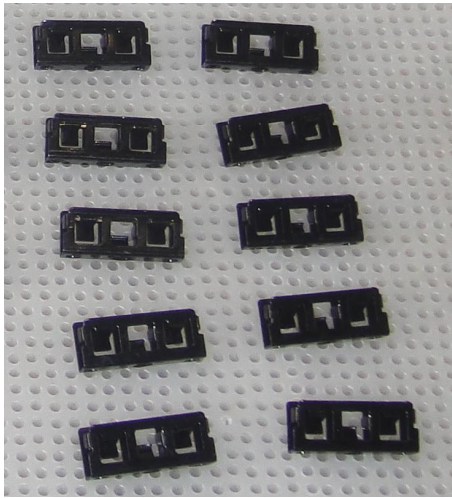


Fig. 14 Photograph of chemical plated workpiece for performance test (Left : Screw motion, Right : Linear motion)

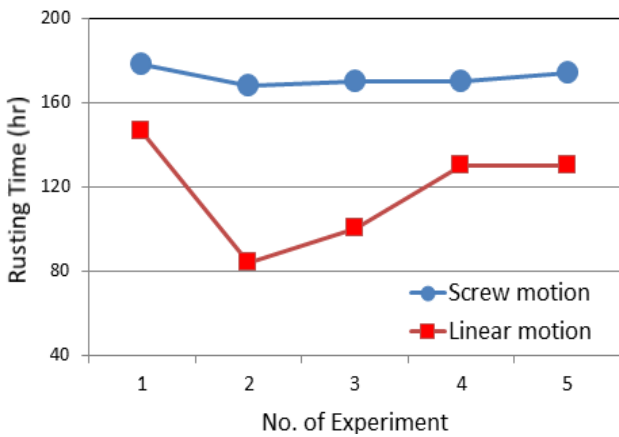


Fig. 15 A Test results for the screw motion and linear motion (● : Screw motion, ■ : Linear motion; Temperature : 40°C, Concentration : 120 g/l, Immersion time : 50 sec, Acidity (pH) : 2.0)

#### 4.3 나선운동과 직선운동형 도금장치의 성능 비교

본 연구의 주목적은 바스켓의 직선운동과 나선운동에 대한 도금 성능을 비교(백청 발생 시간의 차이)함으로써 새로 개발된 나선운동형 도금장치의 성능을 검증하는 것이다.

Fig. 14는 화학도금 후 염수분무시험이 수행된 피도금물의 사진이며, Fig. 15는 나선운동과 직선운동에 대한 백청 발생 시간을 비교한 것이다. 이 실험에서 사용된 도금조건(앞 절의 분석결과를 이용)은 도금액의 온도를 40°C, 도금액의 농도를 120 g/l, 피도금물의 침적시간을 50 sec, 산도를 pH 2.0로 설정하였다. 또한, 정밀한 검증을 위하여 5회의 반복실험 후 평균 백청 발생 시간을 측정하였다.

Fig. 15에서 볼 수 있듯이 나선운동에서의 평균 백청발생 시간

이 172시간이었으며, 직선운동에서의 평균 백청발생 시간은 118시간이었다. 따라서 나선운동 쪽이 염수에 대한 내식성이 평균 54시간이 더 길다. 그러므로 새로 개발된 나선운동방식이 기존방식보다는 보다 효율적이라고 판단된다.

이러한 연구결과는 기존 연구들인 압력부상방식<sup>[1]</sup>에서의 도금액 농도유지와 진동방식<sup>[4]</sup>에서의 피도금물들의 화학 반응을 위한 공간확보 능력을 개발된 도금장치가 잘 반영한다는 것을 의미한다. 즉, 피도금물들에 나선운동을 부여함으로써 기존 연구인 압력부상방식 도금장치에서의 도금액 농도유지능력과, 진동방식 도금장치에서의 화학반응을 위한 공간확보 능력을 효과적으로 보완될 수 있음을 보여준다.

또한, 본 개발된 장치는 2가지 기능을 하나의 기계장치에서 통합할 수 있으므로 기존의 연구들 보다는 작업 현장의 적용에 더욱 효과적일 것이라고 판단된다.

## 5. 결론

본 논문에서는 기존에 사용되던 직선운동형에서 나선운동형 도금장치로 개선하고, 도금층의 두께를 나타내는 백청발생시간을 측정하여 개선된 도금장치의 성능을 검증하였다.

도금층 형성에 필요한 주요 영향인자는 도금액의 온도가 가장 크며, 그 다음에는 도금액의 농도와 피도금물의 침적시간이며, 이에 비해 산도는 적은 영향을 미친다. 본 연구에 사용된 실험조건 하에서의 최적 도금조건은 도금액의 온도는 40~50°C, 도금액의 농도는 120~140 g/l, 침적시간은 40~60 sec, 도금액의 산도는 pH 1.8~2.2이다.

새로 개발된 나선운동형 도금장치가 기존의 직선운동형 도금장치보다 평균 백청 발생 시간이 54시간 길다.

그러므로 본 연구에서 개발된 도금장치는 압력부상방식에서의 도금액 농도유지와 진동방식에서의 피도금물들의 화학반응을 위한 공간확보 능력을 동시에 반영시킬 수 있다.

본 연구의 결과는 수량이 많고 크기가 작은 피도금물들을 랜덤하게 적재하여 도금하는 경우에는 매우 효과적일 것으로 예상된다.

## References

- [1] Kim, D. G., Lee, J. H., 2017, Chromate Plating Characteristics using Pressurized Floating of Random-loaded Products, J. Korean Soc. Precis. Eng., 34:9 639-646, <https://doi.org/10.7736/KSPE.2017.34.9.639>.
- [2] Kim, D. G., 2017, Chromate Random Loading of Workpiece Plating Characteristics, Doctorate Thesis, Korea Polytechnic

University, Republic of Korea.

- [3] Lee, J. H., Kim, D. G., 2013, Method and Apparatus for Plating, KR Patent: 10-2013-0090643.
- [4] Heo, W. S., Lee, J. H., Kim, D. G., 2020, Improvement of Chromate Plating Characteristics using Vibration, J. Korean Soc. Precis. Eng., 37:1 1-6, <https://doi.org/10.7736/JKSPE.019.081>.
- [5] Heo, W. S., 2019, Chromate Plating Characteristics using Vibration of Randomly Loaded Workpiece, Doctorate Thesis, Korea Polytechnic University, Republic of Korea.
- [6] Lee, C. T., 2007, Enlargement of Anti-corrosion of Zinc Plating by the Trivalent Chromium Surface Conversion Coating, J. Korean Ind. Eng. Chem., 18:3 296-302.
- [7] Kim, S. W., Lee, C. T., 2006, Environment-friendly Trivalent Chromate Treatment for Zn Electroplating, J. Korean Ind. Eng. Chem., 17:5 433-442.
- [8] Im, M. G., 2008, Barrel Plating Apparatus, KR Patent: 10-2008-0124374.
- [9] Lim, H. B., Kim, C. W., Yang, H. I., 2019, Chattering Analysis of Cold Rolling Mill Based on the Design of an Experiment, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 28:6 406-412, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2019.28.6.406>.



**Duck Gi Kim**

Professor in the Department of Mechanical Engineering, Korea Polytechnic University. His research interest is Chemical Plating Technology.

E-mail: [kdg711209@hanmail.net](mailto:kdg711209@hanmail.net)



**Jong Hang Lee**

Professor in the Department of Mechanical Engineering, Korea Polytechnic University. His research interest is Manufacturing Processes.

E-mail: [ljh@kpu.ac.kr](mailto:ljh@kpu.ac.kr)