

# 도금공정의 안전성평가

박익철 · 이광원 · 박문희 · 이흥기\*

호서대학교 · \*한국생산기술연구원

## 1. 서 론

도금이란 금속이나 비금속의 표면을 얇은 금속 막으로 밀착 피복 시켜 마무리하는 공정을 말한다. 이러한 도금은 제품에 내식성과 장식성, 기계적 강도 등을 주기 위한 목적에서 행해진다. 그러나 도금작업에서는 염산, 황산, 질산 등의 산성물질(Acid)과 수산화나트륨, 수산화칼륨 등의 알칼리성 물질 및 시안화칼륨, 시안화나트륨 등의 시안화 크롬화합물 이외에도 다수의 유해한 화학물질을 취급하고 있다. 또한 산·알칼리성 물질에 의한 기계의 부식 및 2차적인 재해도 나타날 수 있다. 또한 대부분의 도금공장 특성상 열악한 근무 환경 속에서 작업자는 유독성 가스등 많은 유해 요인 하에서 장시간 노출되어 있고 점도계, 온도계 등의 측정장치가 부족하여 직접 손의 피부감촉으로 오염 정도를 측정하는 등 안전의식 역시 많이 결여 되어있다. 작업환경 역시 열악하여 많은 기계장치에 의해 작업장의 통로는 한사람이 겨우 움직일 정도밖에 되지 않으며 약품통 및 장비들이 통로를 막고 있어 이로 인한 대형사고가 발생할 가능성은 매우 높다. 이에 본 연구는 도금공정의 수많은 위험들을 체계적으로 찾아내고 분석할 수 있는 적합한 안전성평가기법을 선정하고 공정 및 기기의 역할, 사용물질을 파악하여 도금공정의 위험성을 체계적으로 정리하는데 그 목적이 있다.

## 2. 연구내용

모든 화학물질은 잠재적으로 유해 위험하므로 화학물질을 체계적으로 분류하여 적절하게 사전 예방하는 것이 무엇보다 중요하다. 이를 위해서는 사전에 유해위험성을 충분히 교육하여야 만약의 사고에 신속히 대응할 수 있게 된다. 특히 화학물질에 의한 사고는 화재·폭발 및 중독 등 사고로 인한 피해는 그 회복이 어렵다는 점에서 매우 심각하다 할 수 있다. 이에 따라 화학물질을 제조하거나 공급하는 자에게 화학물질의 물성을 정확히 파악하여 사용자 또는 취급자에게 정보를 제공하게 하는 것이 물질안전보건자료(MSDS)이다.

정성적 기법으로 FMEA(Failure Modes and Effects Analysis)는 시스템이나 장치 등의 고장요인의 적출기법으로서, 시스템을 구성하는 기기 혹은 부품 등에서 어떤 고장(고장모드)이 발생하였을 때, 그 고장이 시스템에 어떠한 영향을 주는가를 해석하여, 큰 영향을 미치는 기기 혹은 부품을 적출 하는 기법이다. 적출 되어진 기기 혹은 부품에

대해서는 개선책을 검토하여, 대책을 세우고 시스템의 가동률, 신뢰성, 보전성 혹은 제조나 건설의 품질, 운전 조작성 등을 개선할 수가 있다.

또 다른 정성적 평가 기법인 위험과 운전분석기법(HAZOP)은 가이드 워드와 공정 parameter들의 조합으로 이루어지는 공정이탈이나 비정상상태가 어떻게 위험한지를 팀 리더의 경험과 여러 전문분야의 구성원들로 이루어진 팀이 조직적으로 “brainstorming”을 하는 과정에서 공정의 위험요소를 체계적으로 규명할 수 있다.

### 3. 아연도금라인(반자동라인)의 구조 및 공정 설명

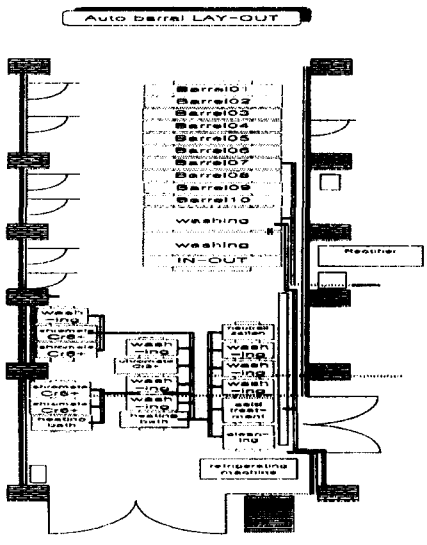


Fig. 1 반자동라인의 Lay out

반자동라인은 부품확인공정으로부터 시작된다. Fig. 1은 반자동라인의 전반적인 공정라인을 보여주고 있다.

육안으로 부품의 상태를 확인한 후 표준장입공정으로 가는데 이 공정은 바렐통에 도금 부품을 넣는 작업이다. 바렐통에 부품을 넣기 위해 투망을 사용하여 부품을 담고, 그 투망을 이용하여 바렐통에 부품을 넣는다. 이 공정을 마치고 중성탈지 공정을 실시하게 되는데 이 공정은 X-100을 사용하여 부품에 묻어 있는 기름을 제거하는 공정이다.

중성탈지가 끝난 부품은 공업용수를 이용한 세척작업을 실시하고 약산공정에 들어가게 된다. 이 공정은 황산을 이용

하여 부품의 기름제거 및 이물질제거를 하는 공정이다. 이 공정은 황산을 사용하므로 작업 시 주의가 요망된다. 약산공정까지 마친 부품은 세척작업을 실시한 후 중화공정에 들어가게 된다. 이 공정은 부품의 pH를 7에 맞추는 공정이다. 사용되는 물질은 가성소다와 청화소다를 사용한다. 중화공정이 끝난 부품은 아연도금공정에 들어가게 되는데 금속아연분, 청화소다, 가성소다, 광택제(NZ202), 전기장치를 이용하여 도금공정을 하게 된다. .

도금공정 이후 공업용수로 부품을 세척작업하고 질산연마공정에 들어가게 된다. 이 공정은 도금된 부품의 표면이 거칠어 진 것을 질산을 이용하여 표면을 매끄럽게 만드는 연마공정이다. 연마공정 후 세척작업을 걸쳐 크로메이트 작업에 들어간다. 부품의 내식성을 증가시키기 위한 공정이며 크롬산을 이용한 공정이다. 크로메이트 공정을 마친 부품은 다시 세척작업을 한 후 열탕건조를 실시한다. 이 공정은 열탕 속에 부품을 넣어두고 부품의 자체 온도를 올려 자연건조를 시키는 작업공정이다. 열탕건조작업 후

에 부품에 물기를 제거하는 탈수 건조를 실시한다.

#### 4. 아연도금라인의 잠재적 위험 분석

아연도금라인의 잠재적 위험을 분석, 검출하기 위하여 아래의 3가지 기법을 사용하였다.

##### 1) 도금공정에 사용되는 물질(MSDS)

도금공정에 사용되는 물질은 약산 공정에 사용되는 황산, 중화·아연도금에 사용되는 NaOH(수산화나트륨)과 NaCN(시안화나트륨), 탈지공정에 사용되는 X-100(계면활성제), 활성화 공정에 사용되는 질산, 크로메이트 공정에 사용되는 크롬산으로 나뉘어 진다. 이들 유해성 물질에 대하여 MSDS를 통한 기초적 물질자료를 확보하였다.

##### 2) 아연도금라인에 대한 FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)

각 sub-시스템의 임무를 파악한 후 도금공정에서 일어날 수 있는 적절한 고장모드를 선정하였다. 선정된 고장모드별 고장원인을 열거하여 이 중에서 중요한 항목을 FMEA 표에 기입하였고 고장원인별 고장영향을 기입하였다. 비교란의 “●”는 고장영향이 작업자에게 치명적인 영향을 미치는 부분을 표시하였다.

아래의 표는 반자동라인에 대한 FMEA의 실시 결과 중 일부이다

표 1 반자동라인의 FMEA 결과표

NO	부품명	기능설명	고장모드	고장원인	고장영향	비고
1	모터	carrier를 구동시킴	오작동	정전, 과부하, 고장	도금불량, 작업중지	
			파손	외부적충격, 과부하 용접부위 파손	작업불가	
2	control switch	carrier를 제어함	오작동	접점불량	작동불량/도금불량	
			작동안됨	고장	작업불가	
3	케이블	carrier전력공급 과 제어	파손	외부요인	작업불가/감전위험성증가	●
			단락/누전	과부하	작업불가/감전위험성증가	●
4	carrier 몸체	바렐통을 이동시킴	파단	외부요인/ 강산에 의한부식	작업불가	
			작동불량	전원공급중단/ rail이상	작동불량	
			오작동	전기신호의 이상/ 기계적 결함	오작동	
5	mono rail	carrier의 이동통로	파손	외부요인/ 강산에 의한 부식	작업불가/carrier의 추락	●

표 2 반자동라인의 FMEA 결과표

NO	부품명	기능설명	고장모드	고장원인	고장영향	비고
5	mono rail	carrier의 이동통로	튀틀림	외부요인	작업불량	
6	zig	부품을 체결하는 장치	파손	강산에 의한 부식/운전미숙	도금부품의 유실	
7	호이스트	zig를 이동시킴	파단	부품의 하중에 의한 파단/외부요인	추락에 의한 사고/도금불량	●
			작동불량	이물질에 의한 작동실패/작업자의 실수	도금불량/강산에 의한 화상	●
8	control switch	호이스트를 제어함	오작동	점점불량	작동불량/도금불량 강산에 의한 화상	●
			작동안됨	고장	작업불가	
9	mono rail	호이스트의 이동통로	파손	외부요인	작업불가/호이스트의 추락	●
			튀틀림	외부요인	작업불량	
10	바렐	부품을 담아 도금하는 장치 (도금공정시만 사용)	파단	외부적요인/강산에 의한 부식	작업불가	
			이탈	톱니의 마모/강산에 의한 부식	작업불가	
11	Tank	공정에 필요한 화학약품 투입하는 곳	비산	강산과 수분의 접촉시	국부적피부상해	●
			균열/크랙	외부충격/열화경화	용제의(대량)누출	●
			상부개방	상시	증기에 의한 중독	●
12	이동식 히터	도금공정시 전처리공정의 온도상승장치	단락	우발고장	도금불량	
			누전	부식또는우발고장	감전/도금불량	●
			과열량	control실패	도금불량/비산	●
			저열량	control실패	도금불량	
13	input배관	공업용수를 투입하는 곳	leakage	외부충격	없음	
			rupture	외부충격	공업용수공급불가	
			막힘	이물질에 의한 막힘	공업용수공급불가	
14	output배관	공업용수를 배출하는 곳	leakage	외부충격	없음	
			rupture	외부충격	공업용수의 외부유출	

표 3 반자동라인의 FMEA 결과표

NO	부품명	기능설명	고장모드	고장원인	고장영향	비고
14	output배관	공업용수를 배출하는 곳	막힘	이물질에 의한 막힘	공업용수배수불가	
15	정류기	교류전력에서 직류전력을 얻기위한 장치	가동중정지	정전/고장	작업불가	
			고출력	고장	도금불량	
			저출력	고장	도금불량	
16	냉동기	도금공정 시 온도조절을 위한 장치	가동중정지	정전/고장	온도상승에 의한 도금실패	
			성능저하	가스부족/기타	온도상승에 의한 도금실패	
			진동	노후/기타	소음	
			가동실패	compressor고장/기타	온도상승에 의한 도금실패	
17	배전반	도금공정라인의 전기제어장치	단락	과전압차단기미작동	작업불가	
			누전	보수불량	작업불가/화재위험/감전	●
			전원공급실패	과전압차단기오작동	작업불가	
18	이동식 히터기	열탕기 안에 온도를 높이는 장치	단락	우발고장	도금불량	
			누전	부식 또는 우발고장	감전/도금불량	
			과열량	control실패	도금불량/비산	
			저열량	control실패	도금불량	
			신체접촉	사용자의 실수	화상	●
19	열탕기	도금된 부품의 자체온도를 높여주는 장치(보온장치)	균열/크랙	외부충격	용제(대량)누출	●
20	탈수건조 장치	도금된 부품의 물기를 제거하여 부품을 건조하는 장치	가동중정지	정전/고장	작업불량	
			파손	외부요인	작업불량	
				과다한 회전에 의한 파손	작업불량/사고위험	
			오작동	과부하	작업불량/작업자상해	
			진동	노후/기타	소음	
			과열	과부하	화상	

3) 아연도금라인에 대한 HAZOP (Hazard and operability)

HAZOP의 Study node는 Zn바렐 도금의 전공정에 대하여 실시하였다. 지면 관계상 아래의 표는 아연도금공정 중에서 Zn바렐 공정에 대하여 실시한 HAZOP의 실행결과를 보여준다.

표 4 아연도금공정(study-node : Zn-바렐 도금)에서의 HAZOP 수행결과

Parameter	Guide word	Deviation		Cause	Consequences	Action/Comments
time	more	too much time		장시간 방치	-광택 저하 -적정 색을 얻지 못함	작업표준 숙지 및 준수
	less	too little time		너무 빨리 빼어냄	-적정 색이 나오지 않음 -불순물 제거 불량 -광택의 저하	
	none	Zn 바렐 도금 생략		작업자 실수	-아연 도금 실패	
온도	more	고온		냉동기의 고장	-도금액의 소모 과다 -도금 불량 -기기 이상 발생	정기 점검
	less	저온		냉동기 정지 실패	-광택 저하 -작업 시간 지연 -반응 특성 변화 -도금 불량	
조성	more	청화아연	과다첨가	작업 표준 미준수 및 관리자 실수	-도금 불량	작업표준 숙지 및 준수
	less	청화소다가 유화소다가 광택제A	소량첨가		-도금 불량	
	none				-도금 실패	
	other than	이물질 첨가			-도금 불량	
level	more	high level		작업자 관리자 실수	-작업자의 전도 위험 -작업 환경 불량 -작업중 비산 및 넘침	작업자 주의요망 작업전 용액 수위 조절
	less	low level			-도금불량 -작업 진행 실패	작업전 용액 수위 조절
	none	no level			-작업 불가	작업전 용액 수위 조절
전압	more	과전압		설비의 보존 불량	-정류기 과부하 -작업자 감전 위험	안전장치 설치
	less	저전압		정류기 냉동기 표준 작업 불가	-도금 작업 실패	자체 발전기구비
	none	정전		정전, 전선의 단락	-정류기 및 냉동기 작동 정지	자체 발전기구비
보호구	more	보호구 과다 착용		작업자 실수	-작업자의 효율성 저하 -작업자의 작업 방해	작업자 안전교육 실시
	less	보호구 착용 부족			-작업자 유해 위험	
	other than	보호구 오착용			-작업자 부상 위험	
	none	보호구 미착용				
action	more	과다 행동		작업자 실수	-작업 효율성 저하 -인력 낭비	작업표준 숙지 및 준수 신입자
	less	도금작업 불충분			-도금 불량 -생산 효율 저하	
	none	Zn 발렐도금 공정 생략			-도금 작업 실패	교육 철저히 작업자 안전교육 실시
	other than	불필요한 행동			-도금 작업 실패	

## 5. 결 론

본 연구의 목표는 아연도금라인의 잠재된 위험성을 체계적으로 정리하는데 그 목적을 두고 있다. 먼저 아연도금라인 전체의 작업환경을 파악하였다. 다음으로 아연도금라인 공정의 각 라인의 공정분석을 통하여 각 기기들의 역할을 알아보았고 공정에 쓰이는 물질과 목적을 파악하였다. 공정에 사용되어지는 유해물질들에 대하여는 MSDS를 통한 기초적 물질정보를 확보하였다. 이를 바탕으로 FMEA(Failure Modes and Effects Analysis)와 HAZOP(Hazard and operability)를 통하여 아연도금라인의 정성적 안전성 평가를 수행하여 도금라인의 잠재적 위험성을 체계적이고, 구체적으로 확인할 수 있었다. 이 중 중요한 결과는 다음과 같다.

1. 아연도금작업을 할 경우에 위험물질의 비산과 유독성가스 흡입을 대비하여 작업자는 안전보호구를 상시 착용하여야 한다.
2. 위험물질을 많이 취급하고 있으므로 위험물을 색으로 구별하고, 산성액과 알칼리성액의 구별, 극약과 보통물의 구별을 색으로 알 수 있도록 하는 것이 좋다.
3. 도금작업장의 바닥은 대개 알칼리로 젖어서 미끄러지기 쉬우므로 알칼리성의 도금약이나 탈지액 주위에는 바닥재 구(口)자형 얇은 홈을 파거나 미끄럼방지의 용구를 깔아 놓는 것이 좋다.
4. 강산·강알칼리에 의한 기기들의 부식정도가 심각하므로 이로 인한 피해를 줄이기 위해 기기들의 부식정도를 상시 체크해 주어야 한다.
5. 강산·강알칼리의 비산을 방지하기 위하여 상시 개방되어 있는 Tank주변에 덮개나 투명방벽을 설치해야 한다.
6. 작업자들에게 위험물질의 정보를 알리기 위해 MSDS를 작업장에 상시 비치하여야 한다.
7. 환기장치의 미비로 인하여 작업장내에 유독가스가 상시 체류되어 있어 작업자들에게 미치는 영향이 크므로 환기장치의 확충이 절실히 필요하다.