

아연도금공정의 안전성평가

이광원[†] · 박문희

호서대학교 환경안전공학부
(2003. 8. 5. 접수 / 2003. 10. 27. 채택)

A Study on the Safety Assessment of Zinc Plating Process

Kwang-Won Rhie[†] · Moon-Hee Park

Department of Safety Engineering, Hoseo University
(Received August 5, 2003 / Accepted October 27, 2003)

Abstract : There are now the plating process that have many hazardous factor cause of the using numerous noxious chemical and bad working environments. The purpose of the study is to make a selection of suitable safety evaluation method that can analyze and righteously find with numerous hazardous factor of the plating process. And another purpose is to systematically adjust the risk of plating process by comprehension of the role of process, equipment, and source material. Therefore, these studies are carried out in the following three investigations of this report. The first research understands the injurious human health and environment by analyzing hazardous material based on the MSDS. To evaluate the safety of process and compartment, the second research is proposed the security secure counterproposal by using the FMEA and the HAZOP. The final research is devoted to systematically analyze the hazard by applying for reasonable guide word and doing the HAZOP for hazardous factor in specific process.

Key Words : safety assessment, MSDS, FMEA, HOZOP

1. 서 론

도금공정이란 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 시안화크롬 화합물 이외에도 다수의 유해한 화학물질을 취급하고 있다. 또한 산·알칼리성 물질에 위험 기계의 부식 및 2차적인 재해도 나타날 수 있다. 또한 대부분의 도금공장 특성상 열악한 근무 환경 속에서 작업자는 유독성 가스등 많은 유해 요인하에서 장시간 노출되어 있고 점도계, 온도계 등의 측정장치가 부족하여 직접 손의 피부감촉으로 오염정도를 측정하는 등 안전의식 역시 많이 결여 되어있다. 작업환경 역

시 열악하여 많은 기계장치에 의해 작업장의 통로는 한사람이 겨우 움직일 정도밖에 되지 않으며 약품통 및 장비들이 통로를 막고 있어 이로 인한 대형 사고가 발생할 가능성은 매우 높다. 이에 본 연구는 도금공정의 수많은 위험들을 체계적으로 찾아내고 분석할 수 있는 적합한 안전성평가기법을 선정하고¹⁾ 공정 및 기기의 역할, 사용물질을 파악하여 도금공정의 위험성을 체계적으로 정리하는데 그 목적이 있다.

2. 연구내용

본 연구에서는 도금공정의 안전성평가를 수행하기 위하여 먼저 공정을 분석하고 각 공정에 대하여 사용되는 부품 및 원료, 부산물, 중간 및 최종생성물을 조사하였다. 특히 도금공정에는 많은 화학물질이 사용되고 있는데 이들 화학물질들은 잠재적으로 유해 위험하므로 화학물질을 체계적으로 분류하여 적절하게 사전 예방하는 것이 무엇보다 중요하다.

[†]To whom correspondence should be addressed.
kwrhie@office.hoseo.ac.kr

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. 따라서 본 연구에서는 물질안전보건자료(MSDS)를 통하여 각 원료들의 인체 및 환경유해성을 조사하였다. 또한 도금 작업현장에서 일어나는 모든 작업을 관찰하고 공정 및 부품의 안전성 평가를 위하여 여러 가지 기법 중에서 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)와 HAZOP(Hazard and Operability Analysis)을 선택하였다. 자동화 공정과 반자동공정에서 공정에 사용되어지는 각 부품들을 정의하고, 이들의 고장유형을 관찰한 후에 각 고장유형별로 안전 및 품질에 대한 파급효과를 분석하고 이에 대한 대안을 제시하고자 FMEA를 실시하였고^{1,4)}, 또한 Zn-바렐도금, 베로아 Ni-Cr 도금, 진동바렐공정에서 각 공정의 단계별로 위험을 분석하고자 HAZOP을 실시하였다^{3,6,7)}.

3. 아연도금라인의 공정 개요

반자동라인은 부품확인공정으로부터 시작된다. Fig. 1은 반자동라인의 전반적인 공정라인을 보여주고 있다. 반자동 공정 중 약품사용 공정을 살펴보면 중성탈지 공정시 X-100을 사용하여 부품에 묻어 있는 기름을 제거한다. 중성탈지가 끝난 부품은 공업용수를 이용한 세척작업을 실시하고 약산공정에 들어가게 된다. 이 공정은 황산을 이용하여 부품의 기름제거 및 이물질 제거를 하는 공정이다. 이 공정은 황산을 사용하므로 작업 시 주의가 요망된다. 약산 공정까지 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 하게된다^{2,5)}.

도금공정 이후 공업용수로 부품을 세척작업하고 질산연마공정에서 도금된 부품의 표면이 거칠어 진 것을 질산을 이용하여 표면을 매끄럽게 연마한다. 연마공정 후 세척작업을 걸쳐 크로메이트 작업에서

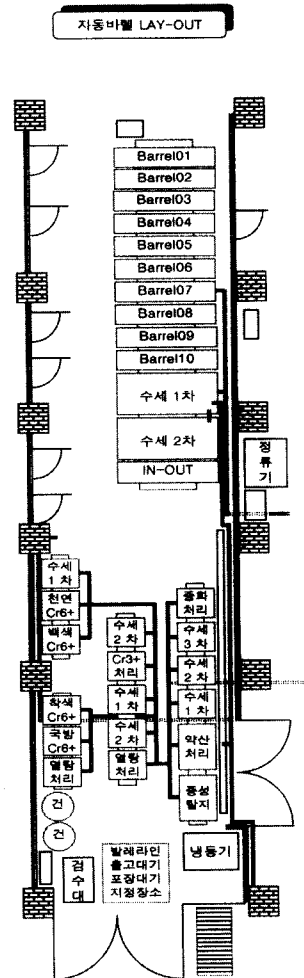


Fig. 1. Lay out of semi-auto line

는 부품의 내식성을 증가시키기 위하여 크롬산을 이용한다. 크로메이트 공정을 마친 부품은 다시 세척작업을 한 후 열탕건조를 실시한다. 이 공정은 열탕 속에 부품을 넣어두고 부품의 자체 온도를 올려 자연건조를 시키는 작업공정이다. 열탕건조작업 후에 부품에 물기를 제거하는 탈수 건조를 실시한다.

4. 아연도금라인의 잠재적 위험 분석

아연도금라인의 잠재적 위험을 분석하기 위하여 아래의 3가지 기법을 사용하였다.

4.1. 도금 공정에 사용되는 유해물질 분석

도금공정에 사용되는 물질은 약산 공정에 사용되

는 황산, 중화·아연도금에 사용되는 NaOH(수산화나트륨)과 NaCN(시안화나트륨), 탈지공정에 사용되는 X-100(계면활성제), 활성화 공정에 사용되는 질산, 크로메이트 공정에 사용되는 크롬산으로 나누어 진다.

이들 유해성 물질에 대하여 MSDS를 통한 기초적 물질자료를 조사 분석하였다. 특히 산전해 공정시 부품자체의 이물질(기름때)을 제거하기 위하여 주로 96%의 황산을 사용하고 산전해 공정이후에도 부품의 기름때 제거 및 이물질을 제거하기 위하여 96%의 황산을 사용하여 작업을 하고 있다. 이때는 98%의 황산을 구매하여 물에 희석하여 사용하고 있다. 산처리 공정이 끝난 부품은 다시 공업용수를 이용하여 세척작업을 하게 된다. 세척작업이 마친 부품은 가성소다(sodium hydroxide)와 청화소다(sodium cyanide)를 이용한 중화작업을 한다. 중화 작업이란 앞의 공정에서 산 처리를 한 부품을 알칼리성 물질과 혼합하여 PH7에 맞추는 공정이다. 이는 아연도금공정에서 부품에 아연이 부품에 좀 더 효과적으로 도금이 되게 하기 위한 공정이다. 여기에 쓰이는 물질은 앞에 언급한 가성소다(sodium hydroxide)와 청화소다(sodium cyanide)를 사용하고 있다. 중화공정은 상당한 위험요소를 가지고 있다. 사용되는 물질이 치명적으로 유해한 물질이므로 항상 주의를 요구하는 작업이다. 다음으로는 아연도금공정이며 이 공정은 부품에 아연막을 입히는 공정이다. 사용되는 물질로는 도금에 필요한 금속아연분과 아연막을 입히는데 필요한 청화소다(sodium cyanide), 가성소다(sodium hydroxides)와 전기장치 그리고 NZ202라는 광택제를 사용한다. 아연도금공정이 끝난 후 공업용수를 이용한 세척작업을 거쳐 활성화 공정에 들어가는데 이 공정은 아연 도금된 부품들을 초산을 이용하여 도금시에 거칠어진 표면을 연마한다. 활성화공정이 끝난 부품들은 공업용수로 세척작업을 실시하고 4종류의 크로메이트 처리작업을 한다. 크로메이트 공정의 목적은 일반적으로 아연도금한 상태에서는 비교적 변색, 부식하기 쉽기 때문에 이 공정을 통해 부품의 부식방지 및 색의 변색을 방지하기 위한 공정이다. 백색 크로메이트공정의 경우 외관은 청은백색이며 목적은 깨끗한 미관을 가지며, 그다지 내식성을 중시하지 않는 부품에 사용되고, 천연색 크로메이트의 경우는 외관은 황금빛 또는 무지개색을 띄며 내식성을 강화 시켜준다.

Table 1. Using material in plating process

공정	목적	사용물질
산전해	전기탈지공정 - 기름을 제거한다	황산, X-1000
수세 1차	세척 작업	공업용수
산처리	황산을 주로 사용 - 기름제거 및 이물질 제거	황산
수세 1차	세척 작업	공업용수
중화	산 + 알칼리 - PH7에 맞춘다	가성소다, 청화소다
아연도금	알칼리로 도금함 - 철에 아연막을 입힘	금속아연분, 청화소다, 가성소다, 광택제(NZ202)
수세 2차	세척 작업	공업용수
활성화	연마공정 - 표면을 매끄럽게 만듦	초산
수세 1차	세척 작업	공업용수
백색	부품의 미관작업	크롬산(Cr6+)
천연색	부품의 내식성증가	크롬산(Cr6+)
흑착색	부품의 차광작업	크롬산(Cr6+)
국방색	부품의 내식성작업	크롬산(Cr6+)
수세 2차	세척 작업	공업용수

이 2종류의 크로메이트공정이 끝나면 공업용수에 의한 세척작업을 실시하고 바로 흑색 크로메이트 공정에 들어가는데 이 공정은 내식성이 좋으며, 장식 부품에도 많이 이용되며 차광목적으로 사용된다. 마지막으로 국방색 크로메이트의 경우는 외관이 올리브색을 띄며 가혹한 부식환경에서 사용되는 부품에 대한 처리 공정이다. 이 크로메이트 공정에는 크롬산(Cr⁶⁺)을 사용하고 있다. 크로메이트 공정이 끝난 부품은 다시 공업용수를 이용한 세척작업을 실시하고 일반건조공정에 들어간다. 일반건조공정은 에어건조로써 실온의 공기를 이용하여 부품을 건조시키며 다음 공정인 열풍건조에서는 건조장치를 이용하여 상온보다 높은 공기를 이용하여 부품을 건조한다. 건조작업을 마친 후 검사 및 출고 작업을 하는데 이 공정은 테이블위에 부품을 놓아두고 수량과 도금의 정도를 육안검사로 실시한다. 마지막으로 출고는 부품의 운반 작업으로써 아연도금이 끝난 부품들을 수량이나 무게를 파악하고 박스에 담아 지게차로 운반하는 작업이다^{8,11)}. 위의 Table 1은 자동라인의 공정도 및 사용물질을 간략하게 나타내고 있다.

4.2. 아연도금라인에 대한 FMEA(Failure Modes and Effects Analysis)

Table 2. FMEA result table

NO	부품명	기능설명	고장모드	고장원인	고장영향	비고
1	모 티	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	carrier전력공급과 제어	파손	외부요인	작업불가/감전위험성증가	●
			단락/누전	과부하	작업불가/감전위험성증가	●
4	carrier 몸체	바렐통을 이동시킴	파단	외부요인/강산에 의한 부식	작업불가	
			작동불량	전원공급중단/rail이상	작동불량	
			오작동	전기신호의 이상/기계적 결함	오작동	
5	mono rail	carrier의 이동통로	파손	외부요인/강산에 의한 부식	작업불가/cARRIER의 추락	●
5	mono rail	carrier의 이동통로	뒤틀림	외부요인	작업불량	
6	zig	부품을 체결하는 장치	파손	강산에 의한 부식/운전미숙	도금부품의 유실	
7	호이스트	zig를 이동시킴	파단	부품의 하중에 의한파단/ 외부요인	추락에 의한 사고/ 도금불량	●
			작동불량	이물질에 의한 작동실패/ 작업자의 실수	도금불량/ 강산에 의한 화상	●
8	control switch	호이스트를 제어함	오작동	접점불량	작동불량/도금불량 강산에 의한 화상	●
			작동안됨	고장	작업불가	
9	mono rail	호이스트의 이동통로	파손	외부요인	작업불가/ 호이스트의 추락	●
			뒤틀림	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	이동식히터	도금공정시 전처리공정의 온도상승장치	단락	우발고장	도금불량	
			누전	부식 또는 우발고장	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	

아연도금라인의 공정에 사용되어지는 주요기기에 대한 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)기법을 사용하여 위험성을 분석하였다. FMEA 기법은 공정에서 사용되어지는 기기나 부품들을 중심으로 예측되어지는 고장모드(failure mode)를 정의하고, 이들이 일어날 수 있는 원인과 영향을 분석하는 기법으로서 여러 가지의 종합적 요인에 의하여 발생하는 위험은 확인하기가 어려우나 기기별의 근본적인 위

험을 찾아내는데 사용한다. 도금라인에서의 위험원인은 일단 다음과 같이 크게 분류할 수 있다.

- 1) 강산, 강알칼리 등의 위해물질의 사용에 따른 위험
- 2) 자동화 설비에 의한 상해위험
- 3) 전기 등 유틸리티의 사용에 따른 위험

인간에게 위험을 주는 기기들은 자동라인의 경우 크게 케이블, mono rail, Tank, 고정식히터, 배전반, control box로 나누어진다. 케이블의 경우 외부요인

(충격)에 의해 케이블이 파손되는 경우 케이블이 작업장으로 떨어져 감전의 위험이 있으며 또한 단락 누전의 경우에도 작업자에게 감전의 위험이 있다. mono rail의 경우 rail의 파손으로 인하여 이동대차가 낙하하는 경우 tank내부에 들어있는 강산성·강알칼리성 물질이 작업자에게 비산하여 화상을 입힐 우려가 있다. tank의 경우는 물기 있는 부품이 tank

내부에 있는 강산과 접촉 시 화학물질이 비산하여 작업자에게 화상을 입힐 우려가 있으며 균열, 크랙, 부식은 tank내부의 용제가 (대량)누출될 우려를 내포하고 있다. 또한 tank는 상시 개방되어져 있어 유독성가스에 의해 작업자가 중독될 우려가 있고, 작업 중에 tank상부에 올라가 작업을 하다 추락하는 경우 중대사고가 발생할 위험도 존재한다. 고정식

Table 3. HAZOP result table

Parameter	Guide word	Deviation		Cause	Consequences	Action/Comments
time	more	too much time		장시간방치	-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 -도금불량 -기기 이상 발생	정기 점검
	less	저온		냉동기 정치 실패	-광택 저하 -작업 시간 지연 -반응 특성 변화 -도금 불량	
조성	more	정화이연	과다첨가	작업 표준 미준수 및 관리자 실수	-도금 불량	작업표준 숙지 및 준수
	less	정화소다	소량첨가		-도금 불량	
	none	유화소다	미첨가		-도금 실패	
	other than	이물질 첨가			-도금 불량	
level	more	high level		작업자 관리 실수	-작업자의 전도 위험 -작업 환경 불량 -작업중 비산 및 넘침	작업자 주의 요망 작업전 용액 수위 조절
	less	low level			-도금 불량 -작업 진행 실패	작업전 용액 수위 조절
	none	no level			-작업 불가	작업전 용액 수위 조절
진압	more	과전압		설비의 보존 불량	-정류기 과부하 -작업자 감전위험	안전장치 설치
	less	저전압		정류기 및 냉동기 표준 작업 불가	-도금 작업 실패	자체 발전기 구비
	none	정전		정전, 전선 의 달락	-정류기 및 냉동기 작동정지	자체 발전기 구비
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 교육 철저 작업자 안전교육 실시
	less	도금작업 불충분			-도금 불량 -생산 효율 저하	
	none	Zn 바렐도금 공정 생략			-도금 작업 실패	
	other than	불필요한 행동			-도금 작업 실패	

히터는 전기의 누전 시 감전과 과 열량으로 인한 화학물질의 비산이 문제가 된다. 배전반과 control box의 경우는 전기누전 시 작업자에게 감전의 위험을 줄 수 있으며 control box의 오작동은 사고의 위험을 가지고 있다.

반자동라인(자동-barral라인)의 위험요소는 케이ابل, mono rail, 호이스트, 배전반, 이동식히터, 열탕기, 탈수장치 등으로 나누어 생각할 수 있다. 대부분이 전기와 관련이 있는 기기들로 파손이나 파단 또는 단란이나 누전이 있는 경우에는 감전이 위험성이 상당히 높아진다. 호이스트는 특별히 어느 한 곳에 고정되어 있는 것이 아니라, mono rail부분에 장착되어 움직이므로 좌·우의 움직임이 심해 작업자에게 피해를 줄 우려가 있다. tank부의 위험은 상시 개방하는 기기 이므로 비산과 유해성증기에 의한 중독과 강산성·강알칼리의 누출시 작업자에게 주는 화상이나 제 2차 피해가 문제로 보인다. 이동식 히터기, 열 탕기, 건조탈수장치의 경우는 전기를 이용 열을 발생하는 부분이 외부에 상시 누출되어 있어 화상이나 제 2차 재해를 유발할 우려가 있다.

다른 기법을 사용하여 보다 상세하게 위험요인을 찾아내고 그 위험의 강도와 빈도 등을 분석해야 하겠지만 도금공정상에서 일하는 작업자들은 많은 위험에 노출되어있으므로 안전보호구를 상시 착용하며 약품은 용도 외에 사용을 금하여야 한다. 또한 강산성 물질에 의한 부식이 많으므로 이로 인한 피해를 줄이기 위해 각 기기의 부식정도를 정기적으로 체크하며, 강산과·강알칼리의 증기흡입위험을 방지하기 위한 국소배기시스템과 tank의 뚜껑설치 등 안전을 위한 체계적인 계획수립도 절실하다 하겠다. 다음은 각 sub-시스템의 임무를 파악한 후 도금공정에서 일어날 수 있는 적절한 고장모드를 선정하여 선정된 고장모드별 고장원인을 열거하여 이 중에서 중요한 항목을 FMEA표에 기입하였고 고장원인별 고장영향을 기입하였다. 비교란의 “●”는 고장영향이 작업자에게 치명적인 영향을 미치는 부분을 표시하였다.

Table 2는 반자동라인에 대한 FMEA의 실시 결과 중 일부이다.

4.3. 아연도금라인에 대한 HAZOP (Hazard and operability)

HAZOP의 study node는 Zn바렐 도금의 전공정에

대하여 실시하였다. 위의 Table 3은 아연도금공정 중에서 Zn바렐 공정에 대하여 실시한 HAZOP의 실행결과를 보여준다.

5. 결 론

공정의 안전성평가를 수행하기 위하여 여러 가지 도금 공정 중에서 대표적으로 Zn-바렐도금(11개 소공정), 베로아 Ni-Cr 도금(12개 소공정), 진동바렐공정(9개 소공정) 등 3개의 공정에서 총 32개 단위공정에 대하여 “시간, 온도, 조성, 수위, 작업, 보호구, 행동” 등의 인자들에 대하여 의미 있는 guide word를 적용하면서 단계별로 위험을 분석하고자 HAZOP을 실시하여 인체에 큰 상해를 입힐 수 있는 고장모드 및 원인을 파악 다음과 같은 개선점을 도출하였다.

- 1) 아연도금 작업 시 위험물의 비산과 유독성 가스의 흡입을 대비하기 위하여 안전장구 및 보호구를 항상 착용해야 한다.
- 2) 위험물을 색으로 구별하고, 산성액과 알칼리성액의 구별, 극약과 일반물질의 구별을 색으로 알 수 있도록 하는 것이 좋다.
- 3) 도금작업장의 바닥은 용액으로 인해 미끄러지기 쉬우므로 작업자의 안전을 고려하여 바닥에는 흙을 퍼거나 미끄럼 방지 용구를 깔아야 한다.
- 4) 강산·강알칼리에 의한 기기들의 부식정도가 심각하므로 이로 인한 피해를 줄이기 위해 기기들의 부식정도를 상시 체크해 주어야 한다.
- 5) 강산·강알칼리의 비산을 방지하기 위하여 용기주변에 덮개나 투명 방벽을 설치해야 한다.
- 6) 위험물질의 정보를 작업자에게 알리기 위해 MSDS의 주요 정보를 작업장에 항상 비치해야한다.
- 7) 환기 장치의 미비로 인하여 작업장내에 유독가스가 상시 체류되어 있어 작업자들에게 미치는 영향이 크므로 환기장치의 확충이 절실히 필요하다.
- 8) 도금용액의 오염정도 등을 확인 시 손이나 혀 등으로 확인하여서는 안된다.
- 9) 정기적인 교육이 필요하다.

또한 도금공정 상에서 일하는 작업자들은 많은 위험에 노출되어 있으므로 안전보호구를 상시 착용하며 약품은 용도 외에 사용을 금하여야 한다. 또한 강산성 물질에 의한 부식이 많으므로 이로 인한 피해를 줄이기 위해 각 기기의 부식정도를 정기적으로

체크하며, 강산과 강알칼리 증기 흡입위험을 방지하기 위한 국소 배기시스템과 탱크의 뚜껑 설치 등 안전을 위한 체계적인 계획 수립도 절실하다 하겠다.

참고문헌

- 1) 이내우, 이진우, 전성균, 이영순, “산업안전 기술자를 위한 위험성평가”, 동화기술, pp. 37~97, 1997.
- 2) 유재민, 박상환, 강성균, “Ni-Cr 합금의 고온산화 특성에 미치는 안정한 산화물 분산체 효과”, 한국표면공학회지, pp. 222~229, 1991.
- 3) 한국산업안전공단 연구원, “안전점검 및 안전성평가”, 한국산업안전공단 산업안전연구원, 1992.
- 4) 강순중, 이창규, 주종대, 윤인섭, “공정 위험평가 (II)-PROCESS HAZARD EVALUATION”, 한국산업안전공단, 1993.
- 5) 아연도금강 구조물 연구원, “용융아연도금과 이종금속과의 접촉”, 아연도금강 구조물 연구회, 1999.
- 6) 이광원, “LPG 저장설비의 안전성평가”, 호서대학교 산업안전기술연구센터, 1997.
- 7) 안전경영과학회 춘계학술대회, “HAZOP을 이용한 공정위험성 평가”, 2000.5.13.
- 8) 산업자원부, “환경친화적 산업기반조성에 관한 보고서”, 1999.
- 9) ISO 14040, “Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework”, 1997.
- 10) ISO 14041, Environmental Management-Life Cycle Assessment-Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, 1998.
- 11) 환경부, “도금공정의 청정화기법 개발”, 1998.