

## 6시그마 기법에 의한 폐수처리 약품투입 최적조건 산출

진 민 호

삼성테크윈 1사업장  
환경안전유니트장

통계적인 상관관계 분석이나, 과학적인 실험계획 등을 통하여 결과를 예측하고, 예측된 결과가 개선효과로 나타남으로써 시그마 수준에 대한 신뢰도가 양우 더욱 높아질 것으로 기대된다.

### 1. 들어가는 말

삼성테크윈 1사업장은 Opto-mechatronics 기술을 바탕으로 인류생활에 기여하는 정밀 광학기기 및 반도체 소자를 제조하는 것을 업의 개념으로 하여 카메라, 렌즈, 실물화상기 등의 광학제품과 반도체 핵심부품인 리드프레임(SLF, ELF,  $\mu$ -BGA, F-BGA, T-BAG), 칩 마운트, 와이어본드 및 DNA 분석장비(Mass Array Nano Dispenser) 제조사업을 집중 육성하여 21세기 디지털기업으로 고객의 다양한 욕구에 부응하고 있다.

환경분야에 있어서는 1996년 10월 ISO 14001 인증을 시작으로 환경경영의 기틀을 마련하였으며, 이에 이어서 1997년 3월에 환경부로부터 환경친화기업으로 지정받았고, 2001년 10월에는 경상남도와 자발적 협약(Voluntary Agreement)을 체결하여 명실공히 환경친화적이고 쾌적한 사업장을 구축해 나가고 있다.

또한, 사업장 환경문제에 대한 산학협동 연구를 지속적으로 진행하고 있으며, 최근 환경부문에도 6시그마 추진기법이 도입되어 과학적인 관리기술로 발전을 거듭하고 있다.

### 2. 무엇이 문제인가?

카메라렌즈와 리드프레임 제조공정에서 발생하는 폐수를 처리하기 위하여, 1985년에 일일 350톤 규모의 폐수처리장을 설립한 이후, 1995년까지 10여 년에 걸쳐 증설을 거듭하여, 일일 2,830톤을 처리할 수 있는 규모까지 늘어날 수질 1종 사업장이 되었다. 이러한 과정에서 총 5개의 유사한 공정을 가진 폐수처리장이 생기게 되었

으며, 좁은 공간에 서로 복잡한 처리 공정이 엉켜져 관리 또한 힘든 상황이었다. 만약, 처음부터 일일 2,830톤 규모의 폐수처리장을 건설했었다면 아마도 처리장치가 간단해서 공사비 절감과 관리의 이점을 충분히 살릴 수 있었을 것이다. 그러나, 사업초기에 폐수가 10배나 증가할 것이라고 예측한다는 것은 매우 힘든 일이라고 생각한다.

이렇게 복잡하게 구성된 폐수처리장치를 운영함에 있어 가장 많은 비용을 차지하는 부분은 역시 폐수처리를 위한 약품비용이다. 연간 45억원 정도의 막대한 비용이 폐수를 정화하기 위하여 투입되어진다. 폐수처리장치 설계 당시 적정한 배출수의 수질을 맞추기 위하여 일반적으로 과잉의 약품이 투입되고 이러한 과잉약품 투입량은 과거와 변함없이 '업무기준'으로서 지켜져 왔다.

그러나, 매년 약품단가의 지속적인 상승과 생산시설의 증가에 따라 약품비용이 증가하게 되고, 이를 최소화하는 방법에 폐수처리장 근무자 및 환경안전팀 전체가 고민하기 시작했으며, 6시그마 방법을 적용하여 약품비용을 저감해 보자는데 의견을 같이 하게 되었다. 프로젝트의 시작은 "현재의 운영방법이 항상 최고의 방법은 아니다"라는 팀원들의 문제의식에서부터 모든 것이 출발하게 되었다.

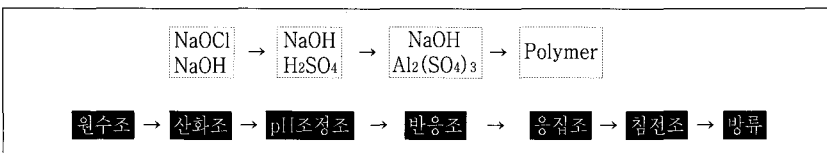
### 3. 주요 활동 내용

#### 가. 현상분석 및 개선방법 도출

당 사업장에서 발생하는 폐수는 크게 산·알칼리, 시안 및 크롬폐수로 구분되어지며, 각각 발생량은 일일 약 1,000톤, 700톤 및 300톤 정도 발생한다.

폐수처리 방법은 일반적인 황화물 침전법 및 알칼리 염소법 등을 이용한 화학적 폐수처리 방법을 적용하고 있으며, 처리공정은 <그림1>과 같다.

<그림 1> 폐수처리장 주요 프로세스 및 약품 주입 지점



폐수처리장에는 총 6종류의 약품이 사용되고, 대부분은 NaOH[가성소다],  $Al_2(SO_4)_3$  [알렘] 및 NaOCl[차염산소다]로서 전체 사용량의 80%를 차지하고 있다. 이중 NaOH 및 NaOCl은 폐수처리장치에 부착되어 있는 pH meter나 OPR(Oxi

dation Potential Reduction) 센스를 이용하여 수질의 상태를 실시간으로 측정하고, 측정되어진 값을 이용하여 약품이 자동으로 주입되어진다.

그러나  $Al_2(SO_4)_3$ 의 경우는 현재 자동화가 이루어지지 않아, 폐수처리의 상태를 육안관찰 및 TMS(Telemetry System)를 통한 배출수질을 확인한 후, 근무자의 감가에 의해서 주입량이 결정되어졌다. 따라서 이를 표준화함과 동시에 기존 약품투입량도 저감하기 위하여 6시그마 방법을 통하여  $Al_2(SO_4)_3$  주입량에 미치는 인자들을 도출하고 이를 최적화하고자 하였다.

우선, 폐수처리장에 주입되는 약품 사용량을 정확히 파악하고, 이론적인 소모량과 과거 1년간의 실제 주입량을 평가하기 위하여 다음 식의 SR(화공양론비)을 이용하였다.

$$\text{SR (Stoichiometric Ratio)} = \frac{\text{실제 약품 주입량[kg/day]}}{\text{이론적 약품 주입량[kg/day]}}$$

$Al_2(SO_4)_3$  대한 SR(화공양론비) 평가 결과, 1.3 ~ 4.2(평균 : 2.37)까지 나타났다. 즉, 당 사업장에서 배출되는 폐수를 처리하는데 투입되어야 할 이론적인 약품량에 비해 항상 2배 이상 투입되는 것으로 나타났다. 여기서 고찰해야 하는 부분은 과연 알럼 약품의 투입량이 많아질수록 배출수의 수질이 향상되었나 하는 부분이다.

시그마의 통계적 기법을 이용하여, 각 SR(화공양론비)에 따라 배출수질(COD, SS, Cr, Cu 등)의 차이점을 검증하였다. 그 결과, SR이 1.3 ~ 1.9[1], 2.0 ~ 2.3[2], 2.4 ~ 2.6[3], 2.7 ~ 3.0[4] 정도로 차이가 있음에도 불구하고, 최종 배출수질의 변화는 없는 것으로 나타났다.

따라서 알럼 약품 공급비를 1.3 ~ 1.9를 하향 조정해도 배출수질에 이상이 없을 것이라는 잠정적인 결론을 얻게 되었다.

또한, 시그마의 통계적 기법을 이용하여 상관관계를 분석한 결과,  $Al_2(SO_4)_3$  주입량과 NaOH 주입량은 강한 양의 상관관계( $R^2=0.93$ , P-value : 0.00)가 있는 것으로 나타났다. 따라서,  $Al_2(SO_4)_3$ 을 줄이게 되면, NaOH의 주입량도 줄어들게 될 것이라고 예측되어졌다.

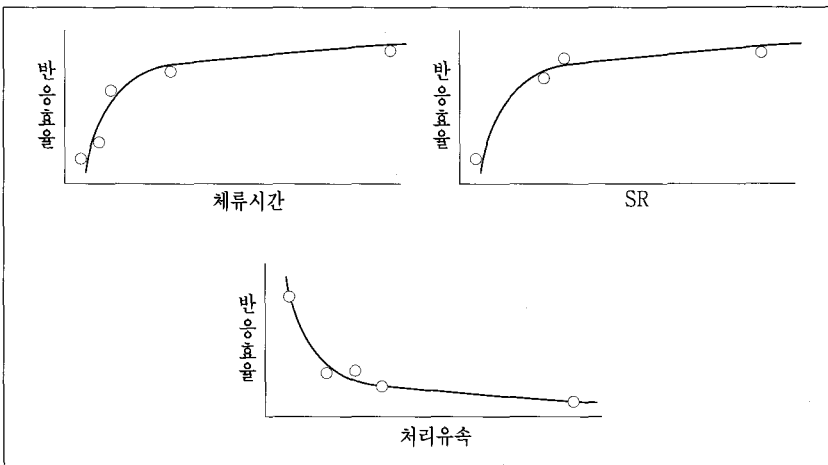
전술한 바와 같이, 반응조에 투입되는 알럼 약품공급비를 1.3 ~ 1.9를 하향 조정해도 배출수질에 이상이 없을 것이라는 잠정적인 결론을 얻게 되었으나 실행에 옮기는 것이 그리 간단한 일은 아닌 듯 했다. 왜냐하면, 통계 분석 값을 절대적으로 믿고 약품량을 급격히 줄였다가, 예상치 못한 배출수질의 악화가 초래되면 참으로 난

감한 일이 아닐 수 없기 때문이다.

따라서, 이를 보완하는 방법을 강구하기 시작하였으며, 약품 주입량에 영향을 주는 수많은 인자들중에서 추가적으로 체류시간, SR 및 처리유속 등과 같은 중요한 인자도 같이 실험적으로 도출하게 되었다. <그림2>는 각 인자별에 대한 알럼 약품 반응·응집효율 실험 결과를 나타낸 것이다.

알럼에 대한 약품 주입비를 줄이는 대신 약품과 폐수가 충분히 반응할 수 있도록 반응시간, 즉 수리학적 체류시간을 1.5 ~ 2.0배 이상 늘려 줄 필요가 있었다.

<그림 2> 각 주요 인자별 알럼 약품의 반응효율 실험 결과



#### 나. 개선 내용

알럼 약품의 주입위치를 반응조에서 pH조정조로 바꾸었다(<그림 1>참조). 알럼의 주입 위치를 pH조정조로 바꿈으로써 첫 번째, 반응조에 투입되어지던 NaOH는 알럼(pH:3.0) 주입 중단에 따라 더 이상 반응조 내에 pH 하강이 없게 되고, 이에 따라, 반응조의 pH 조건(8.0 ~ 8.5)을 맞추기 위한 NaOH도 연동하여 투입량이 급격히 감소하였다.

두 번째, 알럼 약품의 반응시간을 2배로 향상시켰다. 약품의 반응시간을 2배로 향상시키기 위해서 가장 간단한 방법은 반응조를 하나 더 설치하면 될 것이다. 그러나 설치 시에 발생하는 많은 비용과 적절한 부지선정의 어려움이 있다. 따라서 반응조를 하나 더 만드는 효과를 줄 수 있도록, 전단에 약품을 투입함으로써 수리학적 체류시간이 기존에 20 ~ 25분에서 40 ~ 50분까지 증가하게 되었다.

세 번째, 약품 주입량을 결정하는 측정기(센스)위치를 최적화시켰다. 약품주입량이 최적화되기 위해서 폐수처리장 조 내에 설치된 측정계측기의 위치 또한 매우 중요하다. 부적절한 위치에 센스가 설치된 경우, 필요 이상의 과량의 약품이 투입되기 때문이다. 이에 따라, 약품 주입량을 결정하는 각 부위별 센스의 위치를 조 내에서 변화를 주면서 실험하여 최적의 위치를 찾게 되었다.

네 번째, 알룸 약품 주입을 위한 작업방법 표준화 추진이다. 알룸의 주입량을 근무자 상호간의 차이를 줄이기 위하여, 플록(Floc) 상태를 대상으로 표준화를 실시하였다. 플록의 크기가 클수록 응집 상태는 양호하다는 것은 일반적인 사실이긴 하나, 그 크기를 실시간으로 측정한다는 것은 어려운 일이다. 따라서, 플록의 색깔로 구분(플록이 흰색을 많이 띠수록 약품이 과다주입 되어졌다고 판단함)하고, 응집조의 일부 폐수를 채취하여 비이커 내 플록을 수회 휘저어 깨지는 정도에 대한 OJT를 통하여 표준화를 구축하였다.

**다. 개선 효과**

가장 큰 개선 효과는 우선 경영적인 측면에서 연간 약품비 8천 5백만원 정도의 절감이 가능해졌다. 자세한 내용은 아래의 <표>에 나타내었다.

또한, 경영성과뿐만 아니라, 폐수처리장 운영 핵심 기술자료를 확보하게 되어 기초적인 운전 수준을 탈피함과 동시에, 폐수처리장에 투입되는 약품량은 절대값이 아니라, 운전 방법의 변경에 따라 저감할 수 있다는 참여인력들의 자신감이 무엇보다 소중하다 하겠다. 또한, 통계적인 상관관계 분석이나, 과학적인 실험계획 등을 통하여 결과를 예측하고, 예측된 결과가 개선효과로 나타남으로써 시그마 추진에 대한 신뢰도가 향후 더욱 높아질 것으로 기대된다.

**<표> 개선효과**

	NaOH		Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>		슬러지
	주입량 [kg/톤(폐수)]	연간경비 [백만원]	주입량 [kg/톤(폐수)]	연간경비 [백만원]	발생량 [톤/월]
개선전	5.92	180	5.77	105	170
개선후	4.30	130	3.61	70	150
감소율	27%		37%		13%

#### 4. 맺음말

예전부터 정해진 방법에 익숙해져 버리면, 더 이상 개선할 것이 크게 없다고 생각하기 쉽다. 더욱이 현재 불편함이 없다면 더더욱 그러할 것이다. 하지만, “현재의 운영 방법이 항상 최고는 아니다”라는 팀원들의 끊임없는 문제의식이 바꿀 수 없게 느껴졌던 현재의 상황들을 천천히 바꿔 나가고 있는 것 같다. 또한, 6시그마 활동을 통하여 6시그마 Tool 자체가 중요한 것이 아니라 어디에 적용하여 어떻게 활용하며, 진정으로 우리가 필요로 하는 것 인가가 더욱 중요할 것이다.

향후, 삼성테크윈 1사업장은 내부적으로는 이러한 6시그마 기법을 적극적으로 수용하여 과학적이고도 체계적인 환경관리가 될 수 있도록 내실을 기하며, 제품에 대한 LCA(전과정평가)에 대한 추진전략을 수립하여 제품생산의 모든 과정에 대한 환경오염물질의 정량적인 평가를 시도해 나갈 계획이다.

<본고는 [그린삼성] 2002년 가을호에서 발췌했습니다.>



### 환경퀴즈 정답 및 풀이

<p>문제 38. ② 해설 · 저수조는 단수나 비상시 대비 수돗물의 저장시설이므로 부식이 발생하지 않는 재질의 재료를 사용해야 하므로 아연도금 강판처럼 부식에 약한 재질을 사용할 경우 쉽게 부식되어 녹물이 발생할 우려가 있음.</p>	<p>· 나일강 : 이집트, 수단, 우간다 등 · 티그리스강 : 터키, 이라크, 시리아 등 · 다뉴브강 : 헝가리, 슬로바키아 등 12개국 이상</p>	<p>하는 사업 또는 행위를 한 자에게 수도 시설의 수선·유지에 관한 비용을 부담케 하는 부담금.</p>
<p>문제 39. ③</p>	<p>문제 41. ② 해설 · 원인자부담금 : 수도공사를 하는데 있어 비용발생의 원인을 제공한 자에게 부담케 하는 부담금.</p>	<p>문제 42. ④ 해설 · 절수기기 사용시 가정용수 절약효과 - 화장실 용수 : 30%, 음료 및 취사 : 20%, 세탁용수 : 10%, 샤워 및 목욕 : 10%</p>
<p>문제 40. ① 해설</p>	<p>· 손괴자 부담금 : 수도시설을 손괴</p>	<p>문제 43. ④</p>