

전과정평가와 simulated annealing을 통한 폐수처리 공정의 환경적 최적화

전해표 · 조희찬 · 전효택¹⁾ · 김영석²⁾

1. 서론

PCB(printed circuit board)는 베이클라이트 수지나 에폭시 수지 위에 전도성 물질인 구리를 고착시키고 회로 설계에 따라 제거하여 전기 및 전자 제품의 내부에서 부품들의 전기적 신호를 전달해 주는 역할을 수행한다. PCB 생산을 위해서는 정면, 마이크로 에칭, 무전해 및 전해 도금, 수세 등의 공정을 거치게 되고, 각 세부공정에서는 에폭시 수지, 동, 화학약품, 전력, 산업 용수 등의 주원료물질을 필요로 하게 된다. PCB 생산에 의해 발생하는 폐수는 Cu 및 기타 생산공정에서 사용되어지는 약품의 성분을 포함하고 있으며, 이 중 Cu는 금속형태로 회수할 경우 생산공정으로 재투입이 가능하여 원료 절감으로 인한 생산원가 감소 효과를 가져올 수 있으며 수계로 방출되는 Cu의 양을 감소시킴으로 생산공정의 환경적 개선에 기여할 수 있다. 본 연구에서는 PCB 생산공정에서 배출될 수 있는 폐수 성분을 전기분해 하여 그 환경영향 변화량을 전과정평가를 통하여 평가하고 시간 및 전압이라는 변수에 의해 다양하게 나타나는 전체 환경영향의 값을 simulated annealing을 통하여 최소화하고자 하였다.

2. 실험 방법 및 자료 수집

전기분해를 통한 폐수 내 Cu 회수의 환경영향 변화를 측정하기 위하여 전기분해 실험을 하였다. 실제 PCB 생산 공정에서 발생하는 폐수는 그 성분이 확인 되지 않은 부분이 있으며, 수세수 사용량의 차이에 따라 각 성분의 농도에 차이를 보이기 때문에 본 연구에서는 PCB 공정 중 폐수 내로 유입될 수 있는 성분인 Cu, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ 등을 포함하는 수용액을 만들어 폐수 대신 사용하였다. 초기농도는 Cu 2700ppm, Cl⁻ 76.3ppm, NO₃⁻ 64.2ppm, SO₄²⁻ 682ppm이며 전기분해 조건은 정전압 5V부터 12V까지 0.5V씩 증가시켜 각각 1시간동안 전기분해 하였다. 전기분해 중 5분마다 시료를 채취하여 각 성분의 변화량을 AAS(atomic absorption spectrometer) 및 IC(ion chromatography)를 통해 측정하였다.

전기분해 중 발생할 수 있는 물질들의 화학적 반응에 대하여

음극에서 - Cu²⁺ (ion) → Cu (metal), H⁺ (ion) → H₂ (gas), 양극에서 SO₄²⁻ (ion) → SO_x (gas), NO₃⁻ (ion) → NO_x (gas), Cl⁻ (ion) → Cl₂ (gas), O²⁻ (ion) → O₂ (gas)의 반응만 발생하는 것으로 제한한다.

주요어: 전과정평가, 폐수처리공정, 최적화

1) 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부(chon@snu.ac.kr)

2) 한국생산기술연구원 나노표면기술팀

3. 전과정평가를 통한 폐수의 전기분해에 대한 환경평가

본 연구에서는 전기분해에 투입되고 배출되는 물질 양을 바탕으로 하여 전기분해 공정의 환경영향에 대해 산성화, 생태독성, 부영양화, 지구온난화, 인체독성, 오존층 파괴, 광화학적 산화의 범주(LCANET, 1996)로 분류하였고 생태독성은 수계생태독성과 토양생태독성으로 나누어 분류하였다. 수계생태독성의 경우 담수와 해수를 구분하여 적용하여야 한다는 연구(Schulze et al., 2001)가 있었으나 본 연구에서는 확보 가능한 데이터베이스 여건상 담수를 기준으로 한 수계생태독성만 사용하였으며 Gabi3.0의 데이터베이스 및 Huijbregts(2000, 2001)가 제시한 특성화 지수 및 가중치를 이용하였다. 환경영향 변화량의 평가를 위해서 전기분해 중 사용된 전력량을 생산하는데 발생하는 환경부담이 증가하며 용액 내에서 제거된 Cu만큼 수계로 방출되는 양이 감소하고 제거된 Cu는 전량 회수되어 공정 내에 재활용 되므로 투입되는 원료물질을 감소시켜 회수된 양 만큼의 Cu를 채취할 때 발생하는 환경영향이 감소하며 용액 내에서 제거된 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 은 각각 Cl_2 , NO_x , SO_x 의 형태로 대기중으로 방출되어 수계로 방출되는 양은 감소하고 대기중으로 방출되는 양은 증가한다고 가정하였다. 전기분해 실험 중 정전압 8V로 한 실험을 통한 얻어진 물질간의 변화량 및 측정된 변화량과 이를 바탕으로 한 환경영향 변화량을 얻을 수 있다. 전체 환경영향은 전기분해 시작 이후 계속 감소하다 Cu의 회수속도가 현격히 줄어들고 SO_x 의 발생속도가 커지면서 증가하는 방향으로 변하는 것을 확인할 수 있다(Fig. 1). 본 실험 조건 하에서는 90분에서 전체 환경영향의 값이 최소화 되었으며, 90분에서 전기분해를 중단시켜 다시 증가하는 환경영향을 제거하여야 할 것이다.

4. Simulated annealing을 통한 환경적 최적점 탐색

본 연구에서는 조합최적화 문제를 해결할 수 있는 simulated annealing을 사용하여 전기분해 공정의 환경영향이 최소화 되는 점을 찾고자 하였다. 본 연구의 전기분해 실험의 환경적 최적점을 찾기 위한 simulated annealing의 조건은 다음과 같다. Simulated annealing을 통하여 근사해를 구하는 과정을 100회 반복하였을 때 나타나는 결과를 살펴보면, 모든 조건에서의 직접적인 비교를 통해 얻어진 전체 최적점(8.5V 80min)과 비교하여 $\pm 5min$, $\pm 0.5V$ 이내가 43%, $\pm 10min$, $\pm 1V$ 이내가 85%로 비교적 정확하게 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

다양한 환경영향을 하나의 단위로 나타낼 수 있는 전과정평가의 특징을 이용하여 최적화를 위한 단위 통합과 이에 따른 최적화 알고리즘의 적용이 용이하게 사용될 수 있는 것을 확인하였고 반응시간의 단일 변수를 가지는 문제의 최적화를 위해 그래프를 비교하는 방법을 사용하여 정전압 8V의 전기분해에서는 반응시간이 90분일 때 전체 환경영향 값이 최소가 되는 것을 알 수 있었다. 이는 반응시간 90분을 전후하여 소모되는 전력량에 비하여 Cu의 회수 속도가 감소하고 SO_x 를 비롯한 다른 기체오염물질의 발생속도가 증가하기 때문이다. 전압과 반응시간의 두가지 변수를 가지는 문제의 최적화를 위해 simulated annealing을 이용하여 환경 최적점을 구한 결과값은 직접적인 계산을 통해 구하여진 최적점(8.5V 80분)과 비교해 보았을 때 $\pm 5min$, $\pm 0.5V$ 이내가 43%, $\pm 10min$ $\pm 1V$ 이내가 85%로 최적점에

가까운 값을 빠른 시간 내에 찾아내는 것을 확인할 수 있었다.

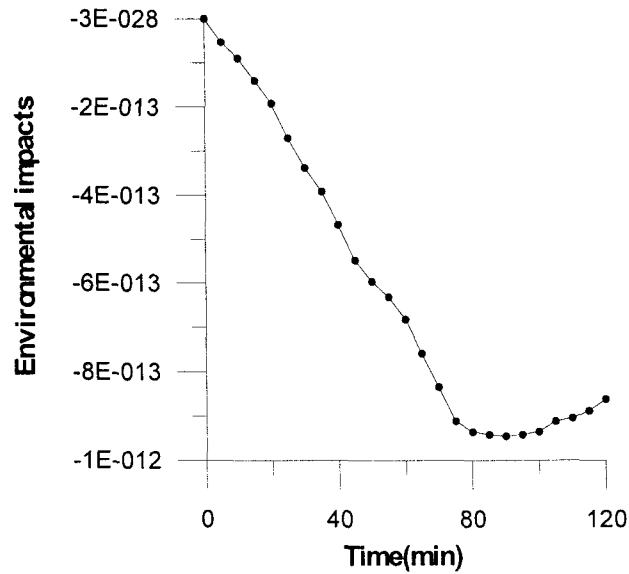


Fig. 1. The changes of environmental impacts as a function of time

참고문헌

1. Huijbregts, M. A. J., Guinée J. B. and Reijnders, L., 2001, Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment. III: Export of potential impact over time and space, Chemosphere, v. 44, No. 1, p. 59-65.
2. Huijbregts, M. A. J., Thissen, U., Guinée, J. B., Jager, T., Kalf, D., van de Meent, D., Ragas, A. M. J., Sleswijk, A. W. and Reijnders, L., 2000, Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment. Part I: Calculation of toxicity potentials for 181 substances with the nested multi-media fate, exposure and effects model USES-LCA, Chemosphere, v. 41, No. 4, p. 541-573.
3. LCA-NET, 1996, Definition Document. CML, Leiden University, Leiden, Netherland, 24p.
4. Schulze, C., Jödicke, A., Scheringer, M., Margni, M., Joliet, O., Hungerbühler, K. and Matthies, M., 2001, Comparison of different life-cycle impact assessment methods for aquatic ecotoxicity: Environ. Toxicol. Chem., v. 20, No. 9, p. 2122-2132.