

## Electrokinetics를 이용한 김에서의 중금속 제거

이현호, 서성준, 최관영, 양지원

한국과학기술원 화학공학과

### ABSTRACT

Electrokinetic tests are conducted on laver contaminated with heavy metals to investigate the efficiency of the process in removing Cd, Pb, and Zn. The tests were operated at constant current, and operating time were 0 - 24 hours. The removal efficiency in electro-osmosis with open electrodes is time-dependent. The absorbed Cd, Pb and Zn were removed 50.94-95.75%, 80.78-81.96%, and 48.10-83.83% by the process.

**Key word** : electrokinetic, 김, 중금속

### I. 서론

98년 5월 26일자 경향신문에 의하면 우리나라 연근해 양식장에서 생산된 김에서 인체에 치명적인 중금속인 비소가 기준치(1.5 ppm)의 최고 1백 65배(248.4 ppm) 이상 검출되었다고 한다. 또한 인체에 치명적인 중금속인데도 기준치조차 정해져 있지 않는 카드뮴(Cd)도 지난해 4월 조사에서 생김 0.2-9.7 ppm, 건조김 0.1-6.9 ppm이 각각 검출되었으며, 그 외에도 아연, 납, 크롬, 수은, 구리 등이 검출되었다고 한다. 그러나 비소의 경우 검출된 비소가 유기 비소인지, 무기 비소인지는 아직 규명되지 않았다. 현행 식품위생법상 허용기준치가 정해져 있는 중금속은 비소, 납, 수은 뿐으로 각각 기준치가 1.5 ppm, 2.0 ppm, 0.5 ppm 이하이다.

우리 나라의 경우 93년 6300만속, 94년 6850만속, 95년 6620만속으로 평균 6000만속의 김이 생산되고 있으며, 이중 일부는 수출되고 나머지는 국내에서 유통되고 있다. 이처럼 많은 양의 김이 국내에 유통되고 있지만, 국내에서는 연안지역 중금속 오염기준 조차도 없으며, 정부가 양식장 인-허가를 남발해 국민 건강에 심각한 피해를 안겨줄 지도 모르는 상황이다.

본 연구에서는 전통적으로 soil consolidation에 사용되어 왔으며, 최근 soil remediation에 이용되고 있는 electrokinetic remediation<sup>1), 2), 3)</sup> 기술을 이용하여 김에서의 중금속 제거를 시도하였다. Electrokinetic remediation 기술은 미국의 EPA, DOE가 주체가 되어 lab-scale 과 pilot-scale의 연구를 마치고 현재 중금속 및 유기물 오염지역에서 현장 테스트를 실시하고 있다. 본 연구의 대상 중금속으로는 납, 카드뮴, 그리고 아연을 선택하였다.

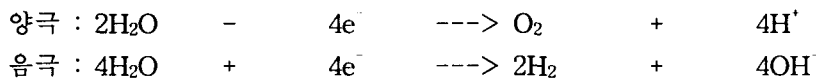
## II. 재료 및 방법

### 1. 재료

본 연구에서는 우리 나라 연근해안에서 생산되어 시중에 유통되고 있는 건조김과 건조미역을 사용하였다. 김은 5종류, 미역은 4종류를 구입하여 실험에 사용하였다.

### 2. 반응기 구성 및 조업

반응기는 그림 1과 같이 구성되었다. 전극판(electrode)은 부식방지와 전극판 표면의 화학 반응을 최소화하기 위하여 탄소판을 이용하였으며, 반응기는 지름 8cm, 길이 16cm 였다. Power supply는 정전류로 조업 되었고, 조업 범위는 0-100mA 이며, 이때 발생하는 전압을 voltage-meter로 측정하였다. Anode tank는 수위를 일정하게 유지하였으며, 전해질 용액으로는 수돗물을 사용하였다. 양쪽 전극판에서의 화학반응식은 다음과 같다.



화학반응식을 살펴보면 음극에서의 물의 소비량 및 가스 발생량이 각각 2배가됨을 알 수 있다. Electrokinetics를 이용한 김에서의 중금속 제거원리는 양극에서 발생한 수소 이온이 김에 흡착되어 있는 중금속을 탈착시키고, 이때 탈착된 중금속 이온은 electromigration과 electroosmosis에 의하여 음극으로 이동하게 되며, 이를 음극에서 포집하여 제거하게 된다. 반응기의 부피는 804cm<sup>3</sup>이며, 건조시료는 400g을 반응기에 투입하였다.

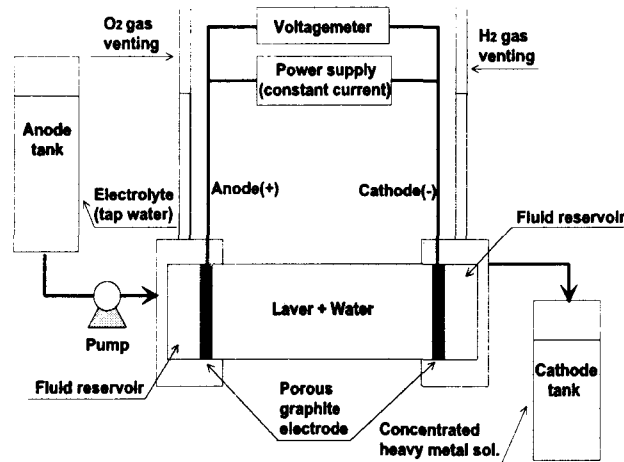


그림 1. Electrokinetics를 이용한 김에서의 중금속 제거 장치 개략도

### 3. 분석방법

조업이 끝난 시료는 80℃에서 48시간 동안 건조한 후, 적당량을 취하여 질산 용액과 혼합한 후 microwave-digestion 장치로 digestion을 한후, 각각의 중금속에 대하여 원자흡광분석기로 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

현재 시중에 유통되고 있는 시료들의 중금속 분석결과가 표 1과 표 2에 나타나 있다. Cd의 경우 아직 규제치가 정해져 있지 않지만, 식품에서의 Cd 규제치가 0.1ppm 정도인 점을 고려하면, 상당히 높은 값을 알 수 있다. 또한 Pb의 경우, 규제치가 2ppm 임을 고려하면, 대부분의 경우 규제치를 훨씬 상회하는 값을 보인다.

표 1. 우리 나라 근해에서 생산된 김의 중금속 함량

지역 농도	A	B	C	D	E
Cd(ppm)	1.565	2.12	0.579	0.374	2.068
Pb(ppm)	5.437	10.20	0	0	31.525

표 2. 우리 나라 근해에서 생산된 미역의 중금속 함량

지역 농도	E	E	G	H
Cd(ppm)	0.305	0.703	0.523	0.319
Pb(ppm)	3.603	4.666	3.546	3.149

본 연구에서는 시료의 안정적인 공급이 가능한 B 지역의 김을 대상으로 연구를 진행 하였다. 실험변수는 반응기에 걸리는 전류와 시간에 관하여 조사하였다. 전류는 0, 20, 40, 60, 80, 100 mA이었고, 시간은 0, 6, 12, 24 시간으로 조업 하였다.

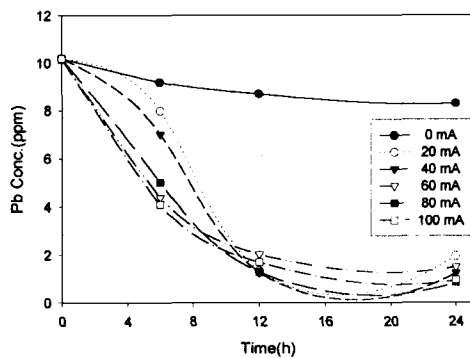


그림 1. 김에서의 Pb 제거 결과

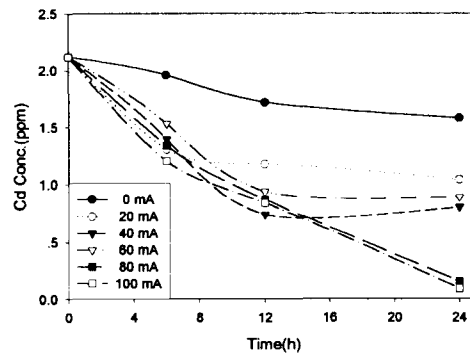
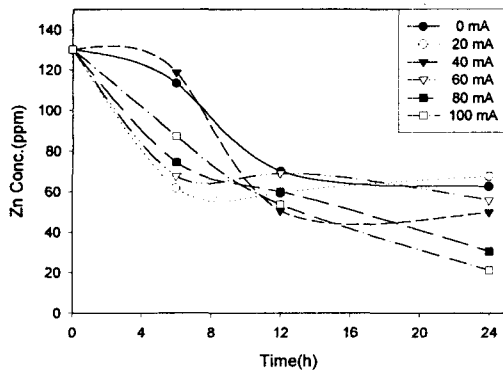


그림 2. 김에서의 Cd 제거 결과

그림 1에서는 납의 제거 결과를 나타내었다. 납의 경우 물에 의한 세척효과는 18.63%로 나타났다. 이는 단순세척에 의해서도 중금속의 일부분이 제거됨을 알 수 있었다. 또한 electrokinetics를 이용한 납의 제거 효율은 80.78-81.96%로 나타났다. 또한 규제치인 2ppm 이하가 되는 조업 조건은 20mA이상에서 12시간 정도로 나타났다. 그림 2에서는 Cd의 제거



결과를 나타내었다. 단순세척 효과는 25.47%이었으며, 본 장치를 통한 제거 효율은 50.94-95.75%이었으며, 현재 규제치는 없지만, 식품에서의 규제치인 0.1ppm을 적용할 경우 80mA 이상에서 24시간을 조업해야 함을 알 수 있었다. 또한 Zn의 경우 단순세척 효과가 51.92%이었고, 본 장치를 이용할 경우 48.10-83.83%로 나타났다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 시간이 증가할수록, 전류가 증가할수록 제거율이 증가함을 보였다. 이는 soil remediation에서 이용되어지던 electrokinetics의 원리를 수산물의 중금속 제거에도 이용이 가능함을 확인하였다. 최적조업 조건은 다양한 중금속에 대하여, 시간과 전류에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에 사용되어진 시료인 김과 미역을 분석해 본 결과 대부분 규제치 보다 훨씬 높게 나타났으며, 신문이나 대중매체에서도 김, 미역, 조개류 등에서 중금속 함량이 규제치 보다 높게 나타남을 보고하고 있다. 하지만, 오염 원인은 아직 명확히 밝혀지지 않은 상태이다. 몇 가지 설득력 있는 원인으로는 쓰레기 투기지역의 침출수와 도시하수가 바다로 유입되어 바다 자체가 오염되었다는 것과, 어민들이 파래 및 잡조류 제거와 병원균 제거를 위해 사용하는 폐염산에 의한 오염, 즉 양식 및 가공과정에서의 오염을 들 수 있다. 이는 정밀한 조사를 오염원인 및 오염실태 등을 반드시 규명하여야 할 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

1. Yalcin B. Acar et al, "Electrochemical processing of soils: theory of pH gradient development by diffusion, migration, and linear convection", *J. Environ. Sci.*, 25, pp 687-714 (1990)
2. Jihad Hamed et al., "Pb(II) removal from kaolinite by electrokinetics", *J. Geotechnical Eng.*, 117, pp241-271 (1991)
3. Yalcin B. Acar et al., "Principles of electrokinetic remediation", *Environ. Sci. Technol.*, 27, pp. 2638-2647 (1993)