

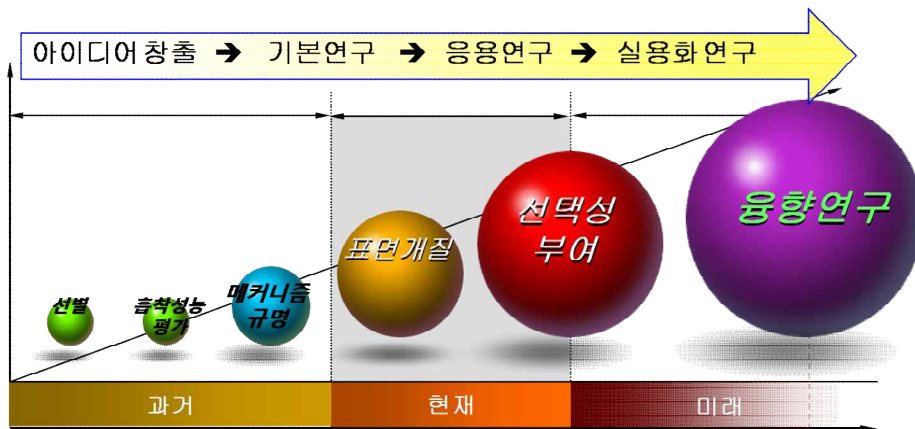
# 생체흡착소재의 용도변화

2014년도 연구 IP (개인)

원성욱(경상대학교)

## 1. 생체흡착소재의 연구개발에 대한 고찰

생체흡착소재의 용도변화를 알아보기 위해서는 우선 생체흡착소재의 연구가 어떻게 진행되어왔는지에 대해 살펴볼 필요가 있다. 대부분의 연구가 그러하듯이 생체흡착소재에 관한 연구도 [그림 1]과 같이 아이디어 창출, 기본연구, 응용연구 그리고 실용화 연구의 순으로 진행되었다.



[그림 1] 생체흡착소재의 연구개발 흐름.

18세기에서부터 중금속을 체내에 축적할 수 있는 살아있는 미생물의 능력에 대해 연구되었지만 미생물들이 수계에 녹아져 있는 오염물질(예, 중금속)을 제거하기 위한 생체흡착소재로 이용된 것은 지난 30년에 불과하다. 초기의 연구내용은 자연계 또는 산업계에서 발생하는 다양한 바이오매스에 대하여 중금속을 제거할 수 있는 흡착능력을 평가하는 것에 초점이 맞추어져 있었다. 이에 [표 1]와 같이 박테리아, 곰팡이, 조류, 산업폐기물, 농업폐기물 등과 같은 수많은 바이오매스들이 탐색·평가되었고, 이 중 미생물이 생체흡착소재로 이용하기에 적합한 원료물질로 인식되었다<sup>1</sup>. 또한, 타겟 오염물질과 미생물간의 흡착 메커니즘에 관한 연구가 이루어졌으며, 결과적으로 흡착에 관여하는 주요 메커니즘은 이온교환, 전정기적 상호작용, 세포 표면에서의 미세침전 등이 관여하고 있음을 밝혀냈다. 하지만 흡착 메커니즘은 사용된 바이

오메스와 타겟 오염물질의 유형에 따라 달라짐으로 연구초기에 흡착 메커니즘을 규명할 필요가 있다. 전세계의 많은 연구자들은 다양한 미생물들이 생체흡착소재로 활용될 수 있는 큰 잠재력을 지니고 있음을 보고하였으나 대부분의 바이오매스는 경쟁소재인 활성탄과 이온교환수지에 비해 상대적으로 낮은 흡착량을 가지고 있어 이에 대한 개선이 필요하였다. 따라서 생체흡착소재의 연구는 타겟 오염물질에 대한 흡착량을 향상시키는 방향으로 진행되었다. 초기에는 화학적으로 세포표면을 개질하는 방법이 주로 이용되었으나 흡착량 향상에는 한계가 있었다. 반면, 특정 오염물질과 결합할 수 있는 작용기를 다량 함유하고 있는 고분자 물질을 세포표면에 결합시키는 방법은 화학적 표면개질 방법에 비해 높은 흡착량 증가를 보였으며, 이는 기존 생체흡착소재의 큰 단점인 낮은 흡착량을 극복할 수 있는 대안기술이 되었다.

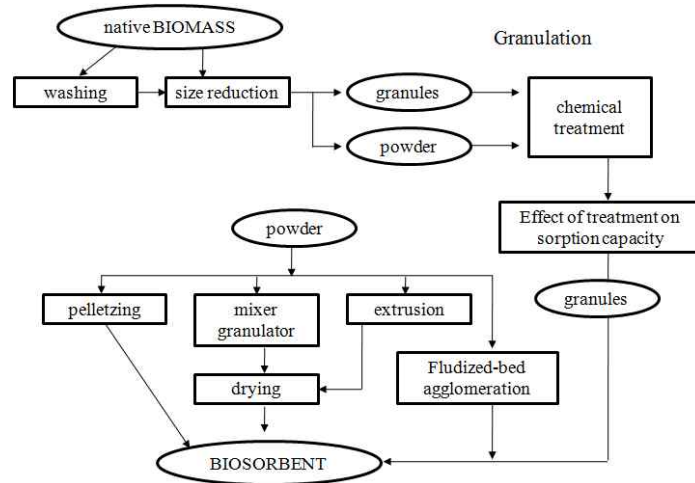
생체흡착소재에 관한 최근 연구는 생체흡착소재의 흡착성능을 향상시키는 연구 외에도 생체흡착소재에 선택성을 부여하는 기술, 그 동안 연구 개발된 기술들 간의 융합 또는 관련 분야들의 기술들을 융합하는 연구가 전세계적으로 다양하게 시도되고 있다.

[표 1] 생체흡착소재 제조를 위한 바이오매스의 유형

Category	Examples
Bacteria	Gram-positive bacteria ( <i>Bacillus</i> sp., <i>Corynebacterium</i> sp., etc.), gram-negative bacteria ( <i>Escherichia</i> sp., <i>Pseudomonas</i> sp. etc.), cyanobacteria ( <i>Anabaena</i> sp., <i>Synechocystis</i> sp., etc.)
Fungi	Molds ( <i>Aspergillus</i> sp., <i>Rhizopus</i> sp., etc.) mushrooms ( <i>Agaricus</i> sp., <i>Trichaptum</i> sp., etc.), yeast ( <i>Saccharomyces</i> sp., <i>Candida</i> sp., etc.)
Algae	Micro-algae ( <i>Clorella</i> sp., <i>Chlamydomonas</i> sp., etc.), macro-algae (green seaweed ( <i>Enteromorpha</i> sp., <i>Codium</i> sp., etc.), brown seaweed ( <i>Sargassum</i> sp., <i>Ecklonia</i> sp., etc.), red seaweed ( <i>Geildium</i> sp., <i>Porphyra</i> sp., etc.))
Industrial wastes	Fermentation wastes, food/beverage wastes, activated sludges, anaerobic sludges, etc.
Agricultural wastes	Fruit/vegetable wastes, rice straws, wheat bran, soybean hulls, etc.
Natural residues	Plant residues, sawdust, tree barks, weeds, etc.
Others	Chitosan-driven materials, cellulose-driven materials, etc.

## 2. 사용용도의 다변화

생체흡착소재는 수계에 녹아져 있는 다양한 중금속을 제거하는 것을 목적으로 연구 개발되었다. 만약 중금속 흡착에 우수한 흡착성능을 가진 바이오매스가 발굴된다면 일반적으로 [그림 2]와 같이 바이오매스를 입상화하여 생체흡착소재로 활용할 수 있다<sup>2</sup>. 이는 산업계에서 회분식 공정보다 연속공정을 선호하기 때문에 바이오매스를 컬럼 공정에서 사용할 수 있는 형태로 바꾸어줄 필요가 있기 때문이다. 그리고 생체흡착소재는 중금속 제거 외에도 색도 유발물질인 염료를 제거하거나 수계에 존재하는 여러 독성물질들을 제거하는 용도로 다변화되었다. 즉, 초기의 생체흡착소재의 용도는 산업에서 발생하는 다양한 오염물질을 적절하게 처리하는 것이라고 말할 수 있다. 따라서 기존에는 생체흡착소재의 핵심사항으로는 기존 상용화 소재에 비해 뛰어난 가격경쟁력과 재생이 쉬워 반복적인 사용이 가능한 특성을 들 수 있다.



[그림 2] 이용 가능한 생체흡착소재로의 가공 과정.

생체흡착소재의 용도는 크게 2000년을 기점으로 오염물질 처리에서 값비싼 금속을 회수하는 쪽으로 변화하였다. 2000년대에 들어 중국, 인도와 같은 개발도상국이 급격한 산업발전을 이루게 됨에 따라 다양한 금속자원 특히 희귀금속의 사용량이 급격히 증가하였다. 하지만 희귀금속은 매장량이 적고 특정 국가에만 편중되어 있는 자원이기 때문에 희귀금속의 사용량 증대는 [표 2]와 같이 희귀금속의 가격을 1.5~6배까지 폭등시키는 결과를 초래하였다. 따라서 기존에는 폐수와 함께 버려졌던 희귀금속을 회수하여 다시 사용해야 하는 필요성이 높아졌고, 생체흡착소재의 용도 또한 중금속과 같은 오염물질의 제거하는 것에서 희귀금속을 회수하는 쪽으로 변화하게 되었다.

[표 2] 주요 희귀금속의 가격 상승률

희귀금속	단위	국제가격		상승률(배)
		2004. 11	2011.01	
로듐	U\$/troy oz	1,250.0	2,345.6	2.1
루테튬	U\$/troy oz	75.0	460.0	6.1
백금	U\$/troy oz	862.5	1,801.6	2.1
이리듐	U\$/troy oz	180.0	425.0	2.4
크롬	U\$/ton	4,700.0	7,825.0	1.6
마그네슘	U\$/ton	1,875.0	3,350.0	1.8
팔라듐	U\$/troy oz	215.5	814.0	3.7
망간	U\$/ton	1,675.0	3,350.0	2.0
게르마늄	U\$/kg	395.0	1350.0	3.4

특징적으로 희귀금속용 생체흡착소재는 흡착소재의 가격경쟁력보다는 흡착소재의 희귀금속 회수에 적합한 성능이 더욱더 중요하게 되었다. 이는 희귀금속이 대단히 고가이다 보니 희귀금속 회수용 생체흡착소재의 가격보다는 흡착소재의 성능에 더 많은 관심을 갖게 되었다. 즉, 생체흡착소재 단위 질량당 희귀금속을 많이 흡착할 수 있는 고성능이 요구되었고, 특정 희귀금속만을 선택적으로 흡착할 수 있는 특성이 흡착소재의 가격 또는 재생능력보다 더 중요하게 인식되었다. 또한, 희귀금속 흡착 후에 희귀금속을 생체흡착소재로부터 쉽게 분리하여 고순도의 희귀금속을 회수하는 방법이 중요하게 되었다([표 3]). 결론적으로 생체흡착소재의 초기 목적은 중금속과 같은 오염물질을 제거하는 것이었다면 앞으로는 희귀금속과 같은 값비싼 금속자원을 회수하는 용도로 연구되어질 것으로 보인다.

[표 3] 생체흡착소재의 용도에 따른 특성

주요 목적	핵심 사양	특징
• 중금속폐수처리	• 가격경쟁력	• 범용적 소재
• 염색폐수처리	• 재생가능성	• 수용액
• 희귀금속 회수	• 선택우수성	• 특수목적 소재
	• 흡착성능(흡착후 회수가능)	• 유기용매

## 참고문헌

1. D. Park, Y.-S. Yun, J.M. Park, 2010. The past, present, and future trends of biosorption, Biotechnol. Bioproc. Eng. 15, 86-102.
2. R.H.S.F. Vieira, B. Volesky, 2000. Biosorption: a solution to pollution?, Int. Microbiol. 3, 17-24.