토착 미생물을 활용한 오염수 내 세슘 제거능 평가

류병곤[1], 최강국[2], 김은경[2], 양희만[1], 박찬우[1], 이근우[1], 문제권[1], 서범경[1*]
[1]한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
[2]KAIST, 대전광역시 유성구 대학로 291
*bumja@kaeri.re.kr

1. 서론

세슘(^{137}Cs)은 원자로에서 핵분열 시 발생하는 주요 방사성 동위원소 중 하나이다[1]. 우라늄과 토륨의 자발 핵분열로 인해 자연계에 극미량으로 존재할 수 있지만 이는 생태계에 전혀 위해를 미치지 않는 수준이기 때문에, 문제로 인식되는 대부분의 경우는 바로 핵실험 및 사고로부터 인위적으로 발생되는 것이다. 실재로 체르노빌 원자력 발전사고, 브라질 고이아니아 사고, 그리고 최근 일본의 후쿠시마 핵발전소 사고와 같이 뜻하지 않은 원전사고로 인해 다량의 세슘이 주변 환경으로 유출되었고, 과거 철재 콘크리트로 처리되어 심해저로 버려진 고방사성 핵폐기물로 인해 다량의 방사성 세슘이 유출되어 바다가 오염되어 있는 실정이다. 이렇듯 반감기가 상대적으로 길고 고에너지 감마선을 방출하는 세슘의 누출 및 방치는 제어하기 어려운 형태의 잠재적 오염원이 될 수 있으며, 2차 오염 및 피해를 야기할 수 있기 때문에 환경에 영향을 미치지 않는 규정 수준 이하의 농도로 핵종의 양 또는 이동성을 저감시킬 수 있는 기술 개발이 시급한 상황이다[1]. 이를 위해 자연적 또는 인위적으로 만들어진 흡착제나 유-무기 이온교환수지와 같은 이온교환을 이용한 방법이 방사성 세슘을 분리 및 제거하는 데 널리 이용되어 왔지만, 높은 운전비용과 낮은 제거 효율 그리고 추가적인 후처리 공정의 필요성 등이 단점으로 지적되고 있다[1]. 최근에는 기존의 물리-화학적인 처리 공법의 대체 기술을 찾기 위한 일안으로 생물의 대사 작용을 이용하여 오염토양 또는 지하수를 처리하는 생물학적 정화공법 및 생물소재를 이용해 독성물질을 제거하거나 희귀금속을 회수하는 분야가 많은 관심을 받고 있다. 생물학적 정화공법 적용 시 세슘의 제거 기작은 세포표면의 작용기와 결합하는 흡착보다는 세포 내부로 흡수되는 기작이 더 우세한 것으로 알려져 있기 때문에 여러 가지 환경 요소, 특히 온도에 의한 영향을 받을 수 있지만 아직까지 이에 대해 알려진 바가 거의 없다. 본 연구에서는 저온에서 종속영양 배양이 가능한 미세조류를 분리하여 온도에 따른 세슘 처리능을 비교분석해보고자 하였고, 세슘의 제거 메커니즘을 이해함으로써 공정적으로 세슘 처리능을 향상시킬 수 있는 방안을 모색해보고자 하였다.

2. 본론

2.1 미생물 종 및 배지 제조

늦가을-초겨울에 활성슬러지를 채취하여 저온에서 광원을 조사하고 희석법을 이용하여 미세조류를 분리하였고, 유전자 서열을 분석하여 *Desmodesmus armatus* SCK로 분류 및 명명하였다. 세포의 성장과 세슘의 제거능을 비교 및 평가하기 위해 *Chlorella vulgaris* UTEX265와 *Chlamydomonas reinharditii* CC-124를 분양받은 후 종균을 유지하기 위해 Beijerinck's solution, phosphate buffer stock solution, Hunter's trace stock solution, 그리고 tris acetate stock solution을 포함한 TAP 배지를 제조하여 필요한 영양분을 공급해주었다. 멸균된 배지가 포함된 배양 플라스크에 각각 분양받은 종균을 접종한 한 뒤, 120 rpm으로 교반시켜 주었고, 25°C에서 형광등 빛을 광원으로 공급하여 종균을 배양하고 활성을 향상시켰다. 이렇게 준비된 종균은 염화세슘(CsCl)이 포함된 TAP 배지로 재접종하여 세슘 제거능을 평가해 보았다. 이를 위해 TAP 배지의 조성을 조정하면서 경쟁 이온으로 알려져 있는 K^+을 phosphate buffer에서 제거한 뒤, 세슘의 농도를 100 μM이 되도록 주입하여 세슘이 포함된 Cs-TAP배지를 준비하였다. 세슘 제거를 위한 배양 실험은 종균 배양실험과 마찬가지로 준비된 Cs-TAP배지에 종균을 주입한 뒤 배양 플라스크를 120 rpm으로 교반시켜 주었고, 25°C에서 형광등 빛을 광원으로 공급시켜 주면서 시간에 따른 미세조류의 성장과 세슘의 제거 동향을 살펴보았다. 이 후 동일한 농도의 Cs-HEPES (pH=8.0)를 제조하여 기존 문헌에 알려진 다른 종과의 세슘 제거능을 평가하였고, K-결핍조건 그리고 동결건조

된 *D. armatus* SCK 세포를 접종하여 세슘제거 메커니즘과 제거능 향상 여부를 확인해보았다. 미세조류의 성장은 UV-vis spectrometer를 이용하여 680 nm에서 엽록소의 optical density를 측정하여 확인하였고, 세슘의 농도는 ICP-MS를 이용하여 측정하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

Fig. 1-(a) 와 -(b)는 각각 25°C 그리고 10°C에서 미세조류의 배양 후 TAP 배지에서 제거된 세슘의 양을 나타내고 있다. *D. armatus* SCK는 다른 미세조류에 비해 월등히 높은 세슘 제거능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

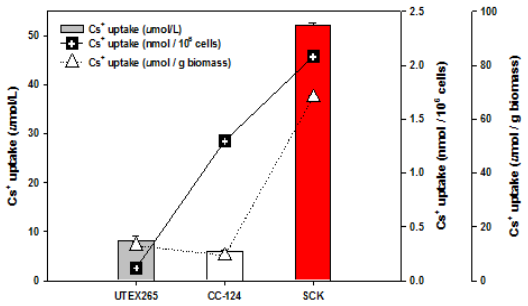

Fig. 1-(a). Decreased amounts of cesium after cultivation of three different algal species at 25°C.

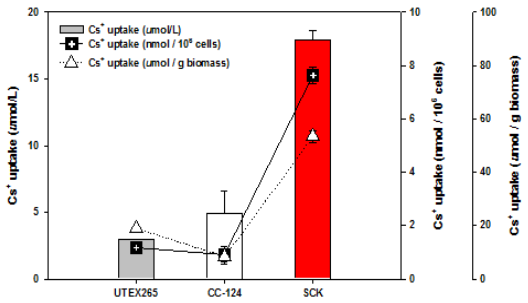

Fig. 1-(b). Decreased amounts of cesium after cultivation of three different algal species at 10°C.

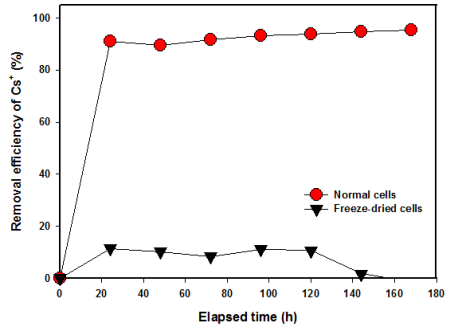

Fig. 2. Comparison of cesium removal efficiency between living and freeze-dried cells of *D. armatus* SCK.

10°C에서 *D. armatus* SCK에 의해 제거되는 세슘의 농도는 감소하였지만, 이것은 저온에서 SCK의 성장속도가 느려지면서 세슘 제거 농도에 영향을 미친 것으로 보인다. 세포수와 농도를 고려했을 때, 오히려 세포 하나가 처리할 수 있는 세슘의 양이 저온에서 3배 정도 향상된다는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1-b). 활성세포와 비활성세포를 비교해 봄으로서 세포표면의 작용기로 세슘을 흡착시키는 메커니즘 보다는 세포 내로 흡수하여 제거하는 메커니즘이 훨씬 더 우세하다는 것 또한 확인할 수 있었다(Fig. 2).

3. 감사의 글

This work was supported by the National Research Foundation of Kore (NRF) Grant funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning (No. 2012M2A8A5025996).

4. 참고문헌

[1] Inoue K., Gurung M., Adhikari B.B., Alam S., Kawakita H., Ohto K., Kurata M., Atsumi K. Adsorptive removal of cesium using bio fuel extraction microalgal waste. J. Hazard. Mat. 2014. 271, 196-201.