지상식물에 의한 세슘 흡수 연구

김병호*, 임광묵, 전인, 최용호, 금동권
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*bhkim1@kaeri.re.kr

1. 연구 배경

방사성핵종 오염토양을 복원하기 위한 대부분의 기존방법들은 단지 방사성핵종의 이동을 제한하여 유기물에게 노출되는 것을 막는 것을 기초로 하고 하고 있기 때문에 굴착에 따른 비용 증가와 토양 침식, 바람을 통한 오염토양물질의 분산 등을 수반한 고유적인 위험성을 내포하고 있다. 따라서 광범위한 오염된 토양을 경제적 및 친환경적으로 정화시킬 수 있는 식물학적 오염 토양복원 기술이 최근 주목받고 있으며, 기술적 한계를 극복하기 위하여 여러 선진 국가에서 다양한 노력을 기울이고 있다.

본 연구에서는 국내 토양에서 잘 자랄 수 있고, 방사성 핵종을 해독할 수 있는 능력이 뛰어나고, 유전적 정보와 생물학적 공학기법 관련 정보의 확보 가능성이 큰 지상식물인 옥수수, 수수, 그리고 토마토를 실험대상 식물로 선정하여 방사성 핵종 ^{137}Cs의 흡수력을 시험하였다.

2. 실험 방법 및 조건

한국원자력연구원에 위치한 방사성 핵종 실험온실에서 3 종의 한해살이 식물들을 대상으로 포트 실험을 수행하였다. 식물재배에 사용할 토양은 한국원자력연구원내 산림지에서 표층에서 깊이 3미터 이내에서 채취한 마사토였으며, 야외에서 햇빛에 의하여 수일동안 건조하였다. 10 x 10 mm 스테인리스 스틸 sieve를 사용하여 건조한 토양을 걸러내어 자갈과 입자가 큰 마사를 제거하였다. 최종 건조토양의 정확한 무게를 측정하기 위하여 자연에서 건조한 토양의 함수율을 측정하였다.

방사성핵종 흡수실험에 사용할 세 가지 작물 즉, 옥수수, 수수, 토마토는 모종을 구입하여 ^{137}Cs으로 핵종 처리한 약 20 kg의 토양을 담은 플라스틱 원형 포트(340 mm D x 300 mm H)에 2015년 6월 22일 옮겨 심었다. 9,500 Bq/kg의 오염토양을 만들기 위하여, 약 20 kg의 토양을 포트에 계량하고 이중 10 kg의 토양을 넓은 고무용기에 담은 후, 약 70 ml ^{137}Cs(180,000 Bq)용액과 유기물이 70 % 이상을 차지하는 90 g의 혼합유박비료를 골고루 살포하여 균일하게 섞은 후 이 토양을 포트에 재투입하고 적당한 양의 물을 주었다.

각 식물에 대하여 시비 토양에서 3 종의 핵종 흡수 반복실험, 시비하지 않은 토양에서 핵종 흡수실험, 시비토양에서 핵종 미처리 실험(control)에 필요한 총 15개의 재배포트를 실험온실에 배치하여 작물을 재배하였다. 식물 재배동안 시료 채취는 토양에 한하여 수행하였다.

실험 재배 작물은 2015년 10월8일 수확하였다. 수확한 작물은 줄기와 잎, 열매부분으로 분류하여 절단 가위를 이용하여 잘게 썬 후 각각 계량하고, 사각 알루미늄 호일에 담아 2 달 동안 자연 건조시켰다. 건조된 시료는 절단된 절단가위를 이용하여 다시 균일하고 보다 미세하게 절단되었고, HPGe detector를 이용한 감마선 분광분석을 통하여 각 건조시료의 세슘농도를 측정하였다.

최종적으로 평균 ^{137}Cs 농도를 이용하여 각 식물의 전이계수를 비교하였다. 전이계수는 토양중 방사성핵종농도 (Bq/kg dry wt.) 에 대한 식물 내 방사성핵종의 농도 (Bq/kg dry wt.) 비로 표시된다.

3. 실험결과

3.1 토양

수목생장에 적당한 토양은 모래함량이 50~ 60%인 사양토 혹은 양토로서 배수성과 통기성이 양호한 토성을 가지고 있어야 하며, 토양산도는 pH 5.5~6.5의 약산성성 토양이 작물 생장에 좋은 것으로 알려져 있다. 유기물(OM) 토양의 물리화학적 성질을 개선하고, 식물과 미생물의 영양원이 되는 유기물이 토양 중에 3%이상 함유되어야 한다.

본 연구에서는 상기 식물 생장에 적당한 토양의 물리화학적 특성을 고려하여 건조된 토양에 혼합유박비료를 혼합(건조토양 20 kg + 혼합유박비료 90 g)하였다. 본 연구에 사용된 혼합유박비료는 질소 4.0%, 인산 2.0%, 칼리 1.0%, 유기물 70% 이상을 함유하고 있다.

3.2 식물 생장 및 ^{137}Cs 흡수

옥수수, 수수, 토마토에 식물에 대하여 생장실험을 수행한 결과 옥수수와 수수의 경우, 시비한 토양과 그렇지 않은 토양에서 자란 식물에 따라 생장의 뚜렷한 차이가 목격되었으나, 토마토의 경우에는 그 차이가 다소 작은 것으로 나타났으며, 각 식물의 ^{137}Cs 처리의 유무에 따른 생장차이는 목격되지 않았다.

우리나라에서 대표적으로 성장하는 옥수수, 수수, 토마토에 대하여 ^{137}Cs 흡수실험을 수행하여, 토양으로부터 식물체로 방사성 핵종이 전이하는 특성을 조사하였다. 식물의 생장시기별로 토양에서 ^{137}Cs의 농도변화를 알아보기 위하여 토양 채취기에 의하여 포트의 반경방향으로 50 mm, 100 mm 떨어진 부분에서 150 mm 깊이까지 축방향으로 토양을 채취하였다. 채취한 튜브는 50 mm 간격으로 절단하여, 깊이별, 즉 표층에서 50 mm, 50 mm에서 100 mm, 100 mm에서 150 mm 구간에서의 토양중 방사성핵종 농도 분석을 수행 중에 있다. 표층에서 축방향 150 mm까지 국한하는 이유는 후쿠시마 주변 오염지역의 밀과 벼 토양 표면으로부터 60 mm이내 깊이에서 약 90% 이상의 ^{137}Cs이 분포하는 것에 기인한다[1]. 이와 같이 토양내외부에서 방사성핵종 분포를 분석함으로써 식물정화기술에 의한 사고 후 중장기적 환경오염대책을 수립하기 위한 기본 자료를 확보할 수 있다,

Fig. 1은 옥수수, 수수, 토마토를 수확한 후 건조하여 잎과 줄기부분을 분리하여 측정한 전이계수를 보여주고 있다. 비료를 살포한 경우, 옥수수, 수수, 토마토의 전이계수는 각각 $3.0x10^{-1}$, $8.1x10^{-1}$, $1.6x10^{0}$으로서 토마토가 옥수수, 수수에 비하여 약 2배에서 5배 이상 높은 전이계수를 가지는 것으로 나타났다. 비료를 살포하지 않은 경우, 옥수수, 수수, 토마토의 전이계수는 각각 $1.7x10^{-1}$, $0.1x10^{-3}$, $2.1x10^{-1}$으로서 비료를 살포한 경우보다 비교적 낮은 전이계수를 보여주고 있으며, 토마토의 전이계수가 가장 높은 것으로 나타났다.

4. 결론 및 향후계획

현재 토양과 각 작물의 열매부분에 대하여 방사능 핵종 농도분석을 수행 중에 있으며, 이러한 분석 결과를 바탕으로 보다 상세한 연구결과를 확보할 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 생산된 자료는 오염 환경을 중장기적으로 평가하고, 대책을 수립하기 위한 전산코드의 입력 자료로 활용될 것이다.

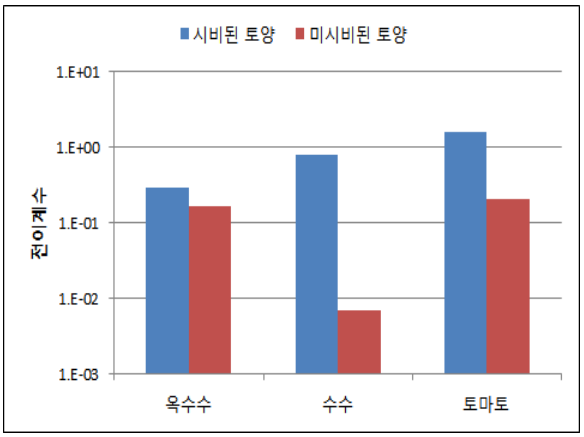

Fig. 1. TF of corn, sorghum, and tomato.

5. 참고문헌

[1] T.Ohno, Y.Muramatsu, Y.Miura, K.Oda, N.Inagawa, H.Ogawa, A.Yamazaki, C.Toyama, and M.Sato. Depth Profiles of Radioactive Cesium and Iodine Released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant in Different Agricultural Fields and Forests. Geochemical Journal.46, 287-295, 2012.

6. 감사의 글

이 논문은 미래창조과학부가 시행한 원자력중장기연구개발사업의 결과물입니다.