

모의 경작지에서의 ^{137}Cs 의 장기 거동
Long-Term Behaviours of ^{137}Cs in Simulated Crop Fields

임광목, 최용호, 박효국, 박두원, 이원운
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

경작지에 침적한 ^{137}Cs 의 장기 거동을 이해하기 위하여 온실내 재배상자에서 ^{137}Cs 를 표층토와 혼합한 다음 벼, 콩, 배추를 4년에 걸쳐 재배하면서 ^{137}Cs 의 뿌리흡수와 지하분포를 조사하였다. 현미, 벳짚, 콩 종실, 배추에서의 ^{137}Cs 전이계수는 작물에 따라 3년만에 3-10배 정도 감소하였고 벼 재배상자에서의 ^{137}Cs 용탈도 3년만에 7배 정도 감소하였다. 콩 종실에서의 ^{137}Cs 전이계수는 현미에 비해 수배 정도 높았다. 벼 재배기간중 ^{137}Cs 의 지하용탈은 1차 연도에도 처리량의 0.025%에 불과하였다. ^{137}Cs 의 표층토내 농도 분포는 해가 갈수록 점점 균일해 졌다. 본 연구결과는 경작지의 ^{137}Cs 오염시 환경영향 평가 및 대책수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

Abstract

In order to understand the long-term behaviour of ^{137}Cs in crop fields, root uptake and underground distribution of ^{137}Cs were investigated through a greenhouse experiment where ^{137}Cs was mixed with topsoil in culture boxes and rice, soybean and Chinese cabbage were grown for 4 years. Soil-to-plant transfer factors of ^{137}Cs for hulled rice, rice straw, soybean seed and Chinese cabbage reduced by factors of 3-10 depending on crops, and leaching of ^{137}Cs from the rice culture box decreased by a factor of about 7, in 3 years. The ^{137}Cs transfer factor for soybean seed were several times higher than that for hulled rice. The amount of ^{137}Cs leaching during the growing season of rice was as low as 0.025% of applied activity even in the 1st year. The uniformity of ^{137}Cs distribution in topsoil tended to improve year by year. The present results may be utilized as basic information for the environmental impact assessment and the counter-measure decision when crop fields are contaminated with ^{137}Cs .

1. 서론

원자력 시설의 가동은 필연적으로 환경으로의 방사성 핵종 방출을 동반한다. 환경으로 방출된 방사성 핵종은 섭취경로(food chain)를 따라 인체에 흡수되어 방사선 내부피폭을 초래할 수 있다¹⁾.

따라서 경작지에 있어서 방사성 핵종의 장기적인 거동을 이해하는 것은 원자력 시설의 환경영향을 평가하고 경작지 오염사고시 합리적인 대책을 수립하는 데 반드시 필요한 일이다. 한편, 방사성 핵종은 경작지에 침적한 후 붕괴에 의해 완전히 사라질 때까지 영향을 미칠 수 있으므로 적어도 수년에 걸친 장기거동을 예측하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 원전의 주요 방출 핵종으로서 반감기가 30 년으로 비교적 긴 ¹³⁷Cs의 경작지에서의 장기 거동을 이해하기 위하여 온실내에 장치된 재배상자에서 우리나라의 주요작물인 벼, 콩, 배추를 4 년에 걸쳐 재배하면서 ¹³⁷Cs의 뿌리흡수 및 지하분포를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

가. 재배상자

실험 작물은 한국원자력연구소의 동위원소실험온실 내에 1.3m 깊이로 건조된 호 속에 장치된 가로, 세로, 높이가 각각 60cm, 60cm, 100cm인 철제 재배상자에서 육성되었다. 그림 1은 호 속에 장치된 재배상자의 단면을 나타내고 있다. 상부 약 15 cm의 토양(A층)은 pH 5.2, 유기물 함량 0.91%, 양이온치환용량 4.2me/100g인 양질사토였다. 상자의 최하부에는 배출구가 있어 침투수를 채취할 수 있도록 하였다.

나. 작물 육성

매년 벼는 5월 26일 경에 동진벼의 모를 이식하였고 콩도 같은 날에 황금콩의 종자를 파종하였으며 배추는 8월 27일 경에 맛나배추의 종자를 파종하였다. 상자당 벼는 1주 4본식으로 16 주를 육성하였고 콩은 12 개체, 배추는 4 개체를 육성하였다. 시비 및 관리는 관행에 준하여 실시하였고 온실의 창문은 모두 떼어 내어 실내의 온도 상승을 최대한 억제하였다. 벼의 경우 7월 14일 경부터 6-7일 간 지속된 중간낙수기를 제외하고는 수확 약 2 주 전까지 관개하여 표면수의 깊이가 생육단계에 따라 2-6cm 정도 되게 하였다.

다. ¹³⁷Cs 처리

실험 첫해인 1993년 작물의 이식 또는 파종 2일 전에 ml당 46.9kBq의 ¹³⁷Cs를 함유하

는 0.5M HCl 용액을 상자당 64ml씩 담수 또는 토양의 표면에 마이크로 피펫을 이용하여 고루 살포하고 다음날 날의 길이가 15cm인 모종용 삽으로 담수하에서 밑거름과 함께 표층 토와 혼합하였다. 1994년부터는 ^{137}Cs 의 추가적인 처리없이 작물을 계속 재배하여 실험을 수행하였다.

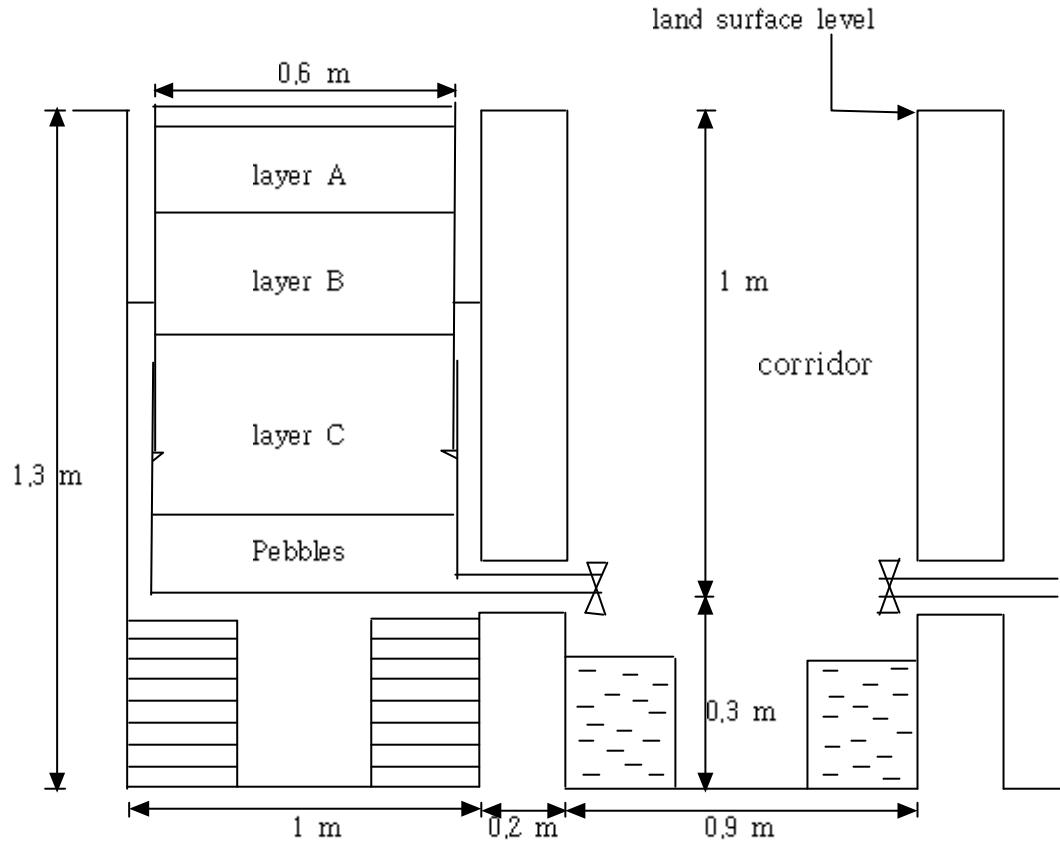


Fig. 1. Sectional diagram of the culture box installed in the greenhouse.

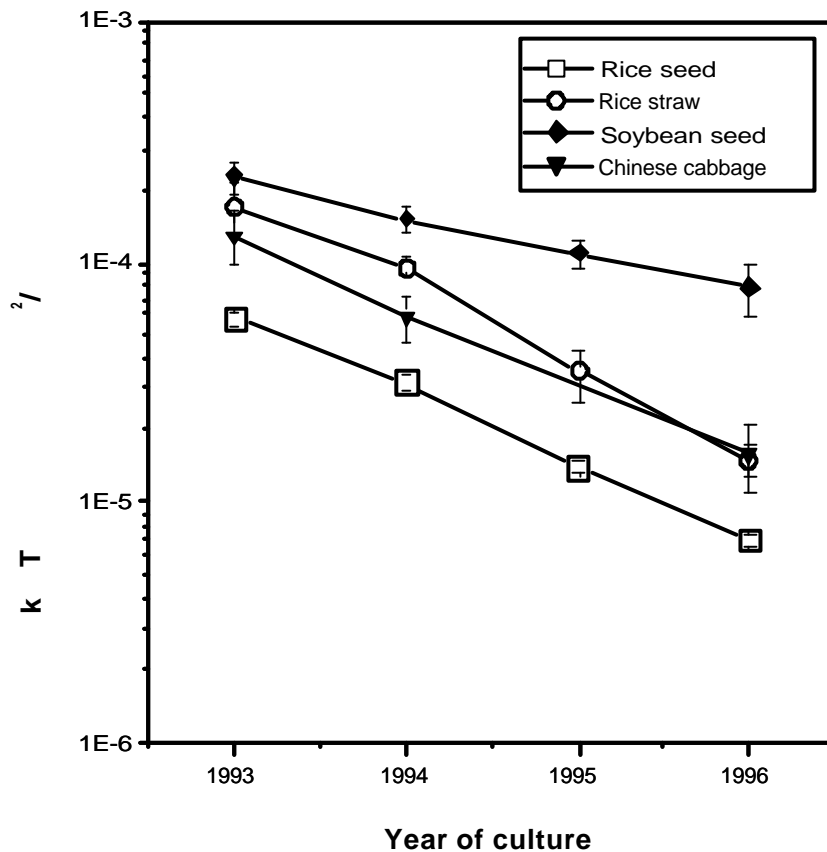
라. 시료채취 및 분석

매년 벼는 10월 11일경에, 콩은 9월 23일경에, 그리고 배추는 11월 8일 경에 한 상자 내의 육성 개체들을 4분하여 수확한 다음 부위별로 나누어 생체중을 측정하고 온실 내에서 2주 이상 자연건조하였다. 작물의 수확후 수일 이내에 상자당 3 군데에서 지름 5cm, 깊이 20-25cm의 토양을 6-7층위별로 채취하였다. 벼의 경우 재배기간중 550 mm에 달하는 관개수의 지하침투²⁾를 모의하여 5-7일 간격으로 9리터의 침투수를 재배상자의 바닥으로부터 배출시켜 이중 500ml씩을 플라스틱 병에 취하였다. 각 시료내 ^{137}Cs 농도는 HPGe 검출기 (EG&G ORTEC)를 이용한 γ -spectrometry 법으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. ^{137}Cs 의 토양-작물체 전이계수

벼, 콩, 배추를 4년간 재배하면서 조사한 ^{137}Cs 의 전이계수는 그림 2에서 보는 바와 같다. 세 작물에서 모두 전이계수는 매년 감소하여 4차 년도에는 1차 년도에 비해 벼의 경우 부위에 따라 8-10배, 콩 종실의 경우 3배, 배추 경엽부의 경우 8배 정도 감소하였다. 재배년차에 따른 전이계수의 감소는 토양에 의한 방사성 핵종의 비가역적 고정 때문인 것³⁴⁾으로 알려져 있다. 작물간에 전이계수의 감소 정도가 다른 것은 주로 시비 및 뿌리의 생리적 대응능력의 차이에 기인하는 것으로 추정된다. 현미의 ^{137}Cs 전이계수는 콩 종실에 비해 해에 따라 4-11배 정도나 낮았고 벼짚에 비해서도 2-3배 정도 낮았다. 최 등⁵⁾도 벼와 콩 간에 ^{137}Cs 전이계수의 차이에 대하여 유사한 실험결과를 보고한 바 있다.



9 Fig. 2. Yearly variations in transfer factors of the ^{137}Cs for
1 rice seed, straw, soybean seed and chinese cabbage.

나. 벼 재배시 침투수중 ^{137}Cs 의 농도

매년 벼의 재배기간 동안 지하 침투수중 ^{137}Cs 의 농도변화를 조사한 것은 그림 3에 나타나 있다. ^{137}Cs 의 처리 1차년도인 1993년에는 처리후 5일 이내에 최고 농도에 달했다가 중간낙수 때까지 농도가 감소하였다. ^{137}Cs 의 농도는 중간낙수 기간 동안 4배 정도의 비교적 큰 감소를 보였다가 중간낙수 직후에 다소 증가한 다음에는 큰 변화없이 매우 서서히 감소하는 경향을 보였다. 중간낙수에 의해 침투수중 ^{137}Cs 의 농도가 감소한 것은 배수로 인해 작토층이 산화상태로 되어 무기 성분의 용해도가 낮아져 지하용탈이 감소하였기²⁶⁾ 때문이다. 이러한 중간낙수의 효과는 2차년도까지는 비교적 뚜렷하였으나 3차년도부터는 거의 나타나지 않았다. 3차년도의 생육 후반기에 나타난 피크를 제외한다면 연차가 진행될수록 재배기간 동안

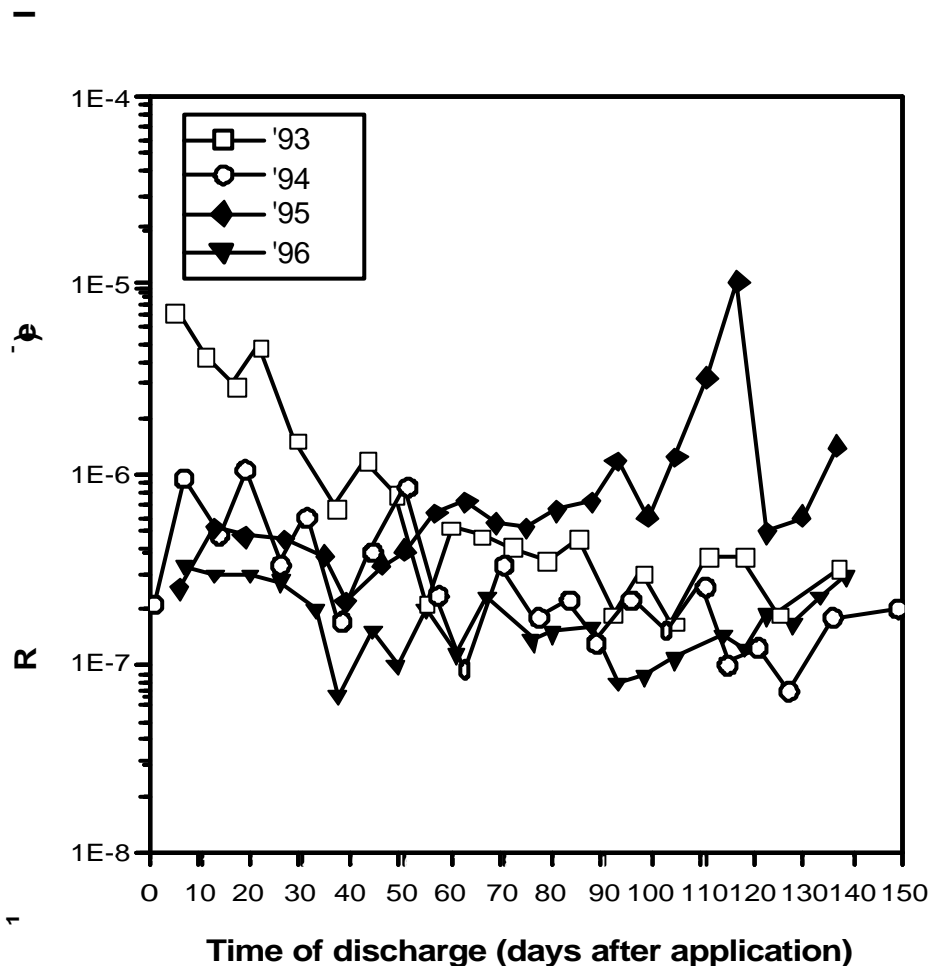


Fig. 3. Changes in ^{137}Cs concentration in percolating water from the rice culture box during the growing season of rice.

의 침투수중 ^{137}Cs 농도변화 정도가 감소하여 4차 연도에는 5배 정도의 변화를 보였을 뿐이다. 또한 3차년도만 제외한다면 연차가 진행될수록 침투수내 ^{137}Cs 의 농도가 점점 감소하는 경향이였다. 3차 연도에서 상기의 피크가 나타난 이유는 분명치 않으나 토양의 환원도가 급히 상승하는 조건이 형성되었기 때문인 것으로 추정된다. 관개수의 지하침투에 따른 ^{137}Cs 의 용탈률은 3차 년도만 제외한다면 매년 감소하여 3년만에 7배 정도 낮아졌다(표 1). 그러나 용탈율은 1차 연도에도 0.025%에 불과하여 논의 ^{137}Cs 오염시 지하수계로 침투하는 ^{137}Cs 의 양은 매우 미미할 것으로 본다.

Table 1. Yearly variations in the ^{137}Cs leaching from the rice culture box.

Year of culture	Percent leaching (%)
'93	2.5×10^{-2}
'94	6.8×10^{-3}
'95	2.4×10^{-2}
'96	3.7×10^{-3}

다. ^{137}Cs 의 표층토중 농도분포

작물 수확후 조사한 표층토내 ^{137}Cs 의 농도분포는 그림 4와 같다. 핵종 처리후 표층토를 섞어주었음에도 불구하고 1차 연도에는 세 작물에서 모두 지표에 가까울수록 농도가 비교적 크게 증가하는 양상이였다. 이것은 표층의 흙이 고루 섞이지 않았다는 것을 의미하는데 실제의 영농에서도 1회의 흙갈이로 일정 깊이의 표층토가 매우 균일하게 섞이기를 기대하는 것은 어려운 것으로 판단된다. 상기와 같은 농도분포의 불균일성은 대체로 해가 갈수록 반복되는 흙갈이로 말미암아 점점 해소되어 4차 연도에는 지하 15 cm까지 비교적 균일한 농도분포를 나타내었다. 또한 4차 연도에는 지하 15 cm 이하로 침투한 ^{137}Cs 의 양도 1차 연도에 비해 크게 증가하여 작물에 따라 6-26%의 방사능이 지하 15 cm 이하에 분포하였다. 세 작물의 재배상자에서의 ^{137}Cs 농도분포를 비교해 볼 때 논에서의 담수관개가 ^{137}Cs 의 지하이동을 촉진하지 못한 것으로 보여진다.

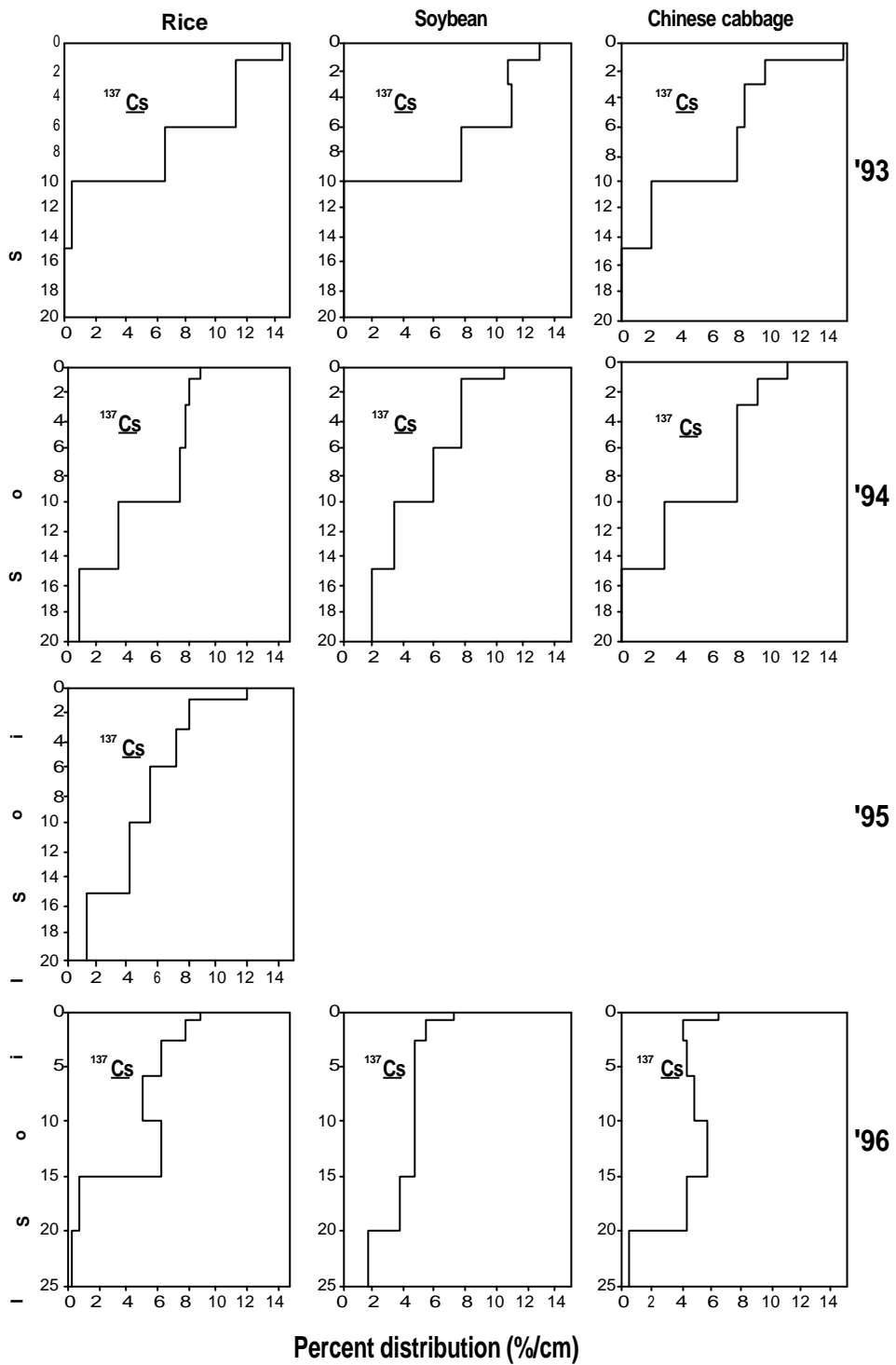


Fig. 4. Yearly variations in depth profiles of the ^{137}Cs in the topsoil of the culture boxes.

4. 결 론

4 년에 걸쳐 온실내 재배상자에서 벼, 콩, 배추를 재배하면서 ^{137}Cs 의 뿌리흡수 및 지하 분포에 대해 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

가. ^{137}Cs 의 토양-작물체 전이계수는 3년만에 작물에 따라 3-10배 정도 감소하였다.

나. 현미의 ^{137}Cs 전이계수는 콩 종실에 비해 해에 따라 4-11배 정도 낮았다.

다. 벼 재배상자에서의 ^{137}Cs 의 용탈은 3년만에 7배 정도 감소하였다.

라. 벼 재배기간중 ^{137}Cs 의 용탈량은 1차 연도에도 처리량의 0.025%로 아주 미미하였다.

마. 해가 갈수록 ^{137}Cs 의 표층토내 농도분포의 균일도는 향상되었고 지하 15 cm 이하로 침투한 ^{137}Cs 의 양도 증가하였다.

이러한 연구결과는 경작지의 ^{137}Cs 오염사고시 장기적인 환경영향 평가 및 대책수립에 활용될 수 있다.

감사의 글

* 본 논문은 과학기술부가 시행한 원자력중장기연구개발사업의 결과입니다.

참 고 문 헌

- 1) IAEA, Generic models and parameters for assessing the environmental transfer of routine release, Safety Series No. 57, Vienna, 1982.
- 2) 이은웅 등, 수도작(4정), 향문사, 1996.
- 3) Boikat, U., Fink, A. and Bleck-Neuhaus, J., Cesium and cobalt transfer from soil to vegetation on permanent pastures, Radiation and Environmental Biophysics 24, 287-301, 1985.
- 4) Noordijk, H., van Bergeijk, K. E., Lembrechts, J. and Frissel, M. J., Impact of ageing and weather conditions on soil-to-plant transfer of radiocaesium and radiostrontium, J. of Environmental Radioactivity 15, 277-286, 1992.

- 5) Choi, Y. H., Kim, K. C., Lee, C. W., et al., Soil-to-plant transfer coefficients of Mn-54, Co-60, Zn-65 and Cs-137 for rice, soybean and vegetables, J. of Korean Associ. for Radiation Protection 16, 55-64, 1991.
- 6) 조성진 등, 토양학(3정), 향문사, 1997.