

### 5C3) 시나리오를 바탕으로 한 벼에 대한 방사성물질 거동평가 모델의 개발

## Development of a Scenario-Based Model for Radionuclides' Behavior in Rice

유 동 한 · 이 한 수  
 한국원자력연구소

### 1. 서 론

원자력시설로부터 사고시 대기중으로 누출된 방사성물질은 토양으로 침적되고 오염된 토양에서 재배된 농작물로 흡수되어 결국은 인체노출이 일어난다. 이러한 경로를 통한 인체노출은 각 나라마다 서로 다른 토양조건 및 작물체 종류의 다양성에 따라 다른 양상을 보이고 있으므로 국내토양을 바탕으로 한국적인 인체노출양상을 평가하기 위해서는 국내실정에 맞게 토양 및 작물체에서의 방사성물질의 거동을 분석하는 모델이 필요하다<sup>[1]</sup>. 국내작물체중 벼는 우리나라에서 재배면적이 제일 넓고 소비량이 많은 작물체중 하나이다. 특히 표층토양층을 고려하는 다른 발작물체와 달리 벼는 토양층위에 표층수가 있는 상태로 재배되는 작물체라는 점을 고려할 때 벼에 대한 방사성물질의 거동평가모델의 개발이 절실하다. 특히 이런 모델개발에서는 벼의 성장에 따른 침적시기에 따라 벼와 토양에서의 방사성물질의 거동이 다르고 장기적으로 방사성물질로 오염된 토양의 효과적인 활용을 위해 방사성물질의 침적이 일어난 다음해부터의 경작시나리오에 대한 토양오염양상도 충분히 고려되어야 한다. 본 연구에서는 방사성물질의 침적시기 및 경작시나리오등 여러 시나리오에 따라서 작물체인 벼와 토양에서의 방사성물질의 거동을 정량적으로 평가하는 수학적 모델인 MatRad-Rice(Mathematically based Radioecological Model for Rice)의 개발을 소개하려고 한다.

### 2. 시나리오를 바탕으로 한 거동평가모델 개발

#### 2. 1 침적시기에 따른 모델구조

현 모델에서는 벼와 토양에서의 방사성물질의 이동을 평가하기 위해 작물체부분은 엽면부, 몸통부분 및 알곡부분으로, 토양은 표층수, 뿌리흡수층, 고정층 및 심층토양등으로 나누어 각 compartment에서의 방사성물질의 질량이동을 수학적으로 모델링하였다. 방사성물질의 침적시기에 대한 영향을 고려하기 위해 방사성물질의 침적이 벼를 파종하기 전에 일어나는 경우에는 방사성물질은 표층수에 침적되고 이후 벼가 파종이 되면 표층수의 방사성물질은 뿌리흡수층에 도달되면서 작물체에 흡수, 몸통부분에 축적되다가 알곡이 생기는 시기서부터 알곡으로 이동한다는 시나리오를 바탕으로 하여 모델링하였다. 이러한 시나리오에서는 그림 1 과 같은 compartment들사이에서 방사성물질의 이동을 평가하게 된다. 그러나 만약 벼를 파종하여 성장이

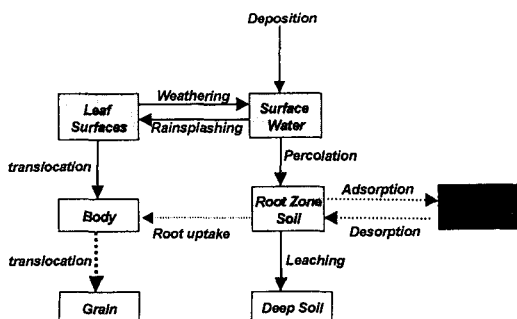


Fig. 1. 벼 파종전 방사성물질의 침적시 모델

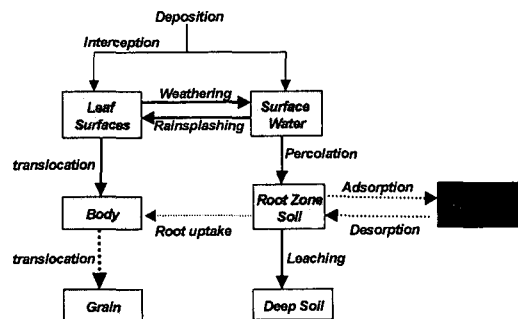


Fig. 2. 벼 파종후 성장기때 방사성물질의 침적시 모델

일어난 후에 침적이 일어나면 방사성물질은 벼의 엽면부에 의해 차단효과(interception)로 엽면부의 성장시기에 따라 표층수에 침적되는 양이 다르게 된다. 그림 2에서는 이러한 시나리오에 따른 방사성물질의 이동을 compartment-based model로 표현하였다.

## 2. 2 계산결과

그림 3은 벼를 심기전 (4월 30일) 표층수에 방사성핵종 Cs-137이  $1 \text{ Bq/m}^2$ 의 방사능이 침적한 경우, 침적 첫해 벼의 몸통부분과 알곡에서의 시간에 따른 방사능량의 변화를 보여주고 있다. 그림 4는 침적 후 3년간 토양층에서의 방사능량의 변화를 3년간 보여주고 있다.

그림 5는 벼를 심은 후 한참 성장하는 시기인 7월 20일에  $1 \text{ Bq/m}^2$ 의 방사능이 토양과 작물체 엽면부에 침적한 경우, 침적 첫해 벼의 몸통부분과 알곡에서의 시간에 따른 방사능량의 변화를 보여주고 있다.

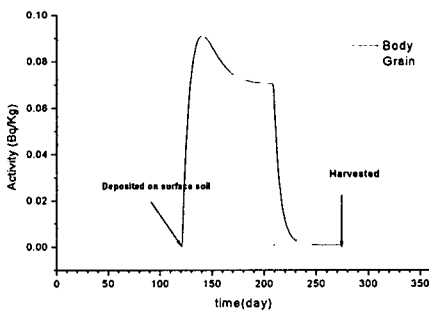


Fig. 3. 성장일전에 침적하는 경우 작물체내의 농도변화

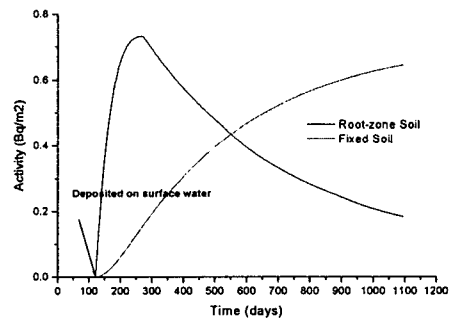


Fig. 4. 성장일전에 침적하는 경우 토양에서의 농도변화

## 2. 3 재배 2년차의 경작시나리오에 따른 모델링

방사성물질이 침적한 다음해부터 오염된 토양에서 계속 재배를 하는 경우와 오염된 토양에서 재배를 안 한 채 자연적으로 방사성물질이 감소되는 경우를 모의하기 위해 다음과 같은 경우에 대해 각각 모델링하였다.

- 1) 침적다음해부터 토양에서 계속 재배가 이루어지는 경우: 그림 6과 같이 작물체는 오직 오염된 토양으로부터 뿌리흡수를 통해 방사성물질을 축적하게 되고 토양층에서는 leaching 등에 의한 메카니즘으로 방사성물질의 감소가 이루어진다.
- 2) 침적다음해부터 재배가 안 이루어지는 경우: 그림 7과 같이 작물체는 오직 오염된 토양으로부터 뿌리흡수를 통해 방사성물질을 축적하게 되고 토양층에서는 leaching 등에 의한 메카니즘으로 방사성물질의 감소가 이루어진다.

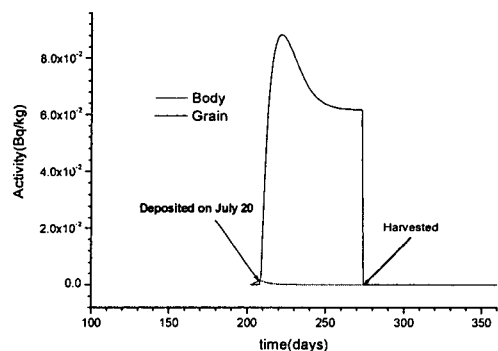


Fig. 5. 벼성장기중 침적하는 경우 작물체내의 농도변화

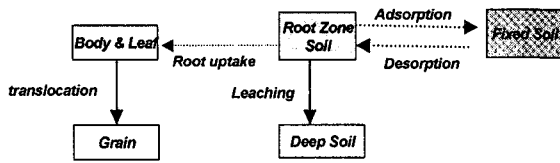


Fig. 6. 침적다음해 벼를 계속재배시 모델

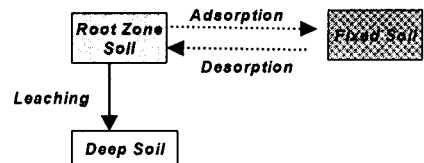


Fig. 7. 침적다음해 벼 재배가 안 이루어지는 경우 모델

### 3. 모델의 활용성

본 연구에서 개발하고자 하는 MatRad-Rice코드는 기존의 수학적 모델에서 다루지 못했던 여러 시나리오들에 대한 적합한 모델링을 통해 좀 더 다양한 평가결과를 예측하고자 한다. 이런 모델에서는 벼의 성장시 방사성물질의 침적시기에 따른 벼와 토양에서의 방사능물질의 거동의 차이점 및 방사능물질의 침적이 일어난 다음해부터의 경작시나리오에 대한 토양오염양상도 충분히 고려되므로 추후 방사능물질로 오염된 토양의 활용대안등을 의사결정(Decision Making)하는데 기존 코드와 달리 효과적으로 활용될 수 있을 것이다. 이런 코드의 개발은 국내 원자력시설로부터 사고시 대기로 방출된 방사성물질이 토양 및 작물체에 침적하여 발생하는 지역의 환경영향, 재배되는 농작물의 안전성을 확보하는데 중요한 자료를 제공하고 이를 바탕으로 하여 식품안전대책 및 추후 오염된 토지의 효과적인 활용안을 수립하는데에도 도움이 되리라고 판단된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 유동한의 1인, 방사성물질의 토양침적시 거동분석모델 개발, 2003년 환경공학회 춘계학술대회, 한국과학기술원, 대전, 2003.5.2-3