

¹⁴CO₂ 가스에 단기간 노출된 벼의 ¹⁴C 오염 예측

전인, 임광목, 금동권, 최용호, 한문희

한국원자력연구원

2008년 8월 1일 접수 / 2008년 9월 16일 1차수정, 2008년 10월 7일 2차수정 / 2008년 10월 9일 채택

본 논문은 벼에 ¹⁴CO₂ 가스를 단기간 동안 직접 노출시켜 시간대별 ¹⁴C의 전이 현상에 대한 동적 예측 모델과 동 모델의 타당성을 조사하기 위해 수행된 벼의 ¹⁴CO₂ 피폭 실험에 대해 기술하였다. 본 모델에서 작물은 몸체와 이삭(쌀알)의 두 격실로 구분되었고, 식물의 광합성과 연관된 매개변수의 함수로 표현되는 5개의 격실 간 탄소이동을 고려하였다. 모델예측을 통해 작물의 ¹⁴C 방사능 오염에 대한 ¹⁴CO₂ 누출 시기 및 지속시간, 매개변수의 영향을 분석하였다. ¹⁴CO₂ 누출 지속시간이 길어지면 본 모델은 비 방사능 모델 적용 영역으로 수렴되었다. 작물의 ¹⁴C 오염은 광합성이 가장 왕성한 개화기부터 수확기 사이에 작물이 ¹⁴CO₂에 노출되었을 때 가장 큰 것으로 예측되었다. ¹⁴CO₂에 대한 벼 노출 실험결과와 모델예측결과와의 비교로부터 본 모델은 벼의 ¹⁴C 흡수 예측 모델로 충분히 활용할 수 있음을 확인하였다.

중심어: ¹⁴C, 벼, 광합성, 식물 호흡, 전이계수

1. 서론

원자력 시설의 정상적인 운영 또는 사고로 인하여 대기 중에 방출된 방사성 탄소(¹⁴CO₂)는 원자력 시설 주변에 생육하는 농작물의 ¹⁴C 농도를 증가시킨다[1,2]. ¹⁴C는 긴 반감기로 인하여 우리의 주변 환경에 오랫동안 존재하고 결국에는 여러 가지 섭취 경로를 통하여 인체로 전이되어 축적된다[3,4]. 따라서 대기로 방출된 ¹⁴CO₂에 대하여 광합성에 의해 유기 ¹⁴C 형태로 작물에 축적된 농도를 예측할 수 있는 수학적 모델이 인간의 흡수 평가를 위해 필요하다.

원자력 시설에서 방출된 ¹⁴CO₂에 대한 작물의 광합성에 따른 작물 내 ¹⁴C 농도를 예측하는 모델은 다양하다[1,5-8]. 이런 예측 모델들은 모델의 대상에 따라 다양한 자료를 요구하는 작물의 탄소 농도 예측에 유용하게 사용될 수 있다. 특히, 복잡한 시간 의존형 모델은 식물의 성장과 광합성 및 오랜 개산 기간에 관련된 여러 가지의 자료를 필요로 한다. 따라서, 보다 쉽고 빠르게 예측하기 위해서는 적은 입력자료를 이용한 단순화된 모델이 더 유용하다.

본 논문에서는 과도한 양의 입력 자료가 필요하지 않고, 단기간 ¹⁴CO₂에 노출된 벼에 포함된 ¹⁴C 방사능을 예측할 수 있는 동적 격실 모델을 제시하였다. 본 모델의 예측 능력을 실험하기 위하여 단기간 동안 ¹⁴CO₂에 노출된 벼의 ¹⁴C 방사능을 관찰하여 비교하였다[9-11].

2. 모델 및 실험

2.1 모델

본 모델은 ¹⁴CO₂ 가스가 원자력 시설의 사고로 인하여 대기 중으로 방출 되었을 때 농작물의 ¹⁴C 오염을 예측하기 위하여 설계하였다. 그림 1은 본 모델의 개념도이다. 본 모델에서는 서로 다른 동적 모델을 구현하기 위하여 작물은 몸체(Body)와 이삭(Ears)의 두 부분으로 분리하였다. 광합성과 호흡은 작물과 대기 사이에서 발생하는 탄소 이동의 주요 요소이다. 작물은 대기로부터 광합성을 통하여 ¹⁴CO₂를 흡수하면서 오염되고, 동시에 호흡을 통하여 대기로 방출하기도 한다. 이삭은 광합성뿐만 아니라 전이 과정을 통하여 몸체에서 이삭으로 ¹⁴C가 이동되어 오염되기도 한다. 이러한 전이 현상은 작물이 개화하기 전 ¹⁴CO₂에 노출된 작물의 열매에서도 방사능이 계측되는 것으로 확인할 수 있다. 흡수에서의 ¹⁴C 흡수는 광합성에 의해 흡수되는 비율에 비해 작물에 미치는 영향이 상대적으로 크지 않으므로 본 모델에서는 이를 제외하였다. 작물 각 부분의 ¹⁴C에 대한 변화율은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{d(M_b W_b Y_b)}{dt} = P_{o,b} - R_b Y_b - T_{b \rightarrow g} Y_b \quad (\text{Body}) \quad (1)$$

$$\frac{d(M_e W_e Y_e)}{dt} = P_{o,e} - R_e Y_e + T_{b \rightarrow g} Y_b \quad (\text{Ears}) \quad (2)$$

여기서,

M_b, M_e : body와 ears 각각의 탄소 함량(gC/kgWW)

$P_{o,b}, P_{o,e}$: body와 ears 각각의 광합성 비율(gC/m²h)

R_b, R_e : body와 ears 각각의 호흡 비율(gC/m²h)

$T_{b \rightarrow g}$: 전이계수 (gC/m²h)

책임저자: 전인, jin@kaeri.re.kr, 한국원자력연구원 원자력환경안전연구부
대전광역시 유성구 덕진동 150 한국원자력연구원 원자력환경안전연구부, 305-353

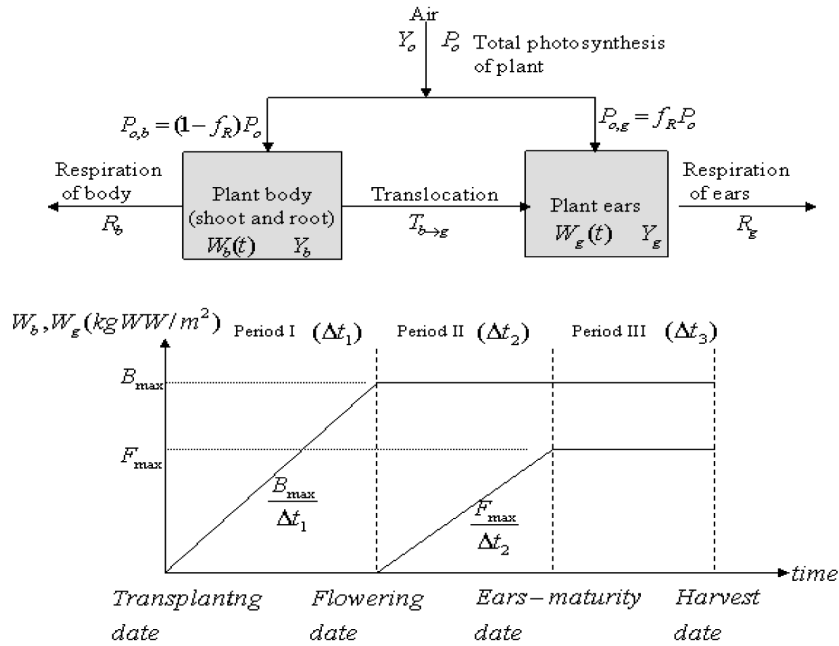


Fig. 1. Conceptual diagram of the present model.

W_b, W_g : body와 ears 각각의 중량(kgWW/m²)

Y_b, Y_g : body와 ears 각각의 ¹⁴C 방사능(Bq/gC)

작물 구성요소(줄기, 이삭) 사이의 탄소 전달 비율은 작물의 성장 속도에 의해 결정된다. 광합성을 통해 공기 중 ¹⁴CO₂가 탄수화물로 합성되고 그와 동시에 작물의 성장을 위해 사용하거나 현상 유지를 위해 소비 하기도 한다. 개화기 이전에 광합성에 의해 생산된 비율이 호흡으로 소비된 비율보다 크다면 작물은 성장할 것이고 개화기 이후에는 광합성에 의해 작물의 몸체에 생산된 탄소 합성물이 이삭으로 옮겨 가고 일부는 작물의 성장이나 유지를 위해 사용된다. 이와 같이 작물의 광합성 비율은 성장 단계에 따라 큰 차이를 보인다. 이렇게 성장 단계에 따라 작물 내 ¹⁴C 거동을 모델링 하기 위하여 본 모델에서는 다음과 같이 세가지 단계로 나누어 모델링을 하였다(그림 1).

- 1 단계 : 작물 이식기에서 개화기까지
- 2 단계 : 개화기부터 열매 성숙기까지
- 3 단계 : 열매 성숙기에서 수확기까지

각 단계에서는 표 1에 요약된 것과 같이 광합성과 전이율의 평균값이 입력 자료로 결정되고 작물의 성장과 광합성에 관련된 10가지 변수를 포함한다(표1, 표2). 각 부분의 방사능 농도는 다음 사항을 고려하여 해석한다.

$$Y_0 = C_0, \quad 0 < t < t_{rel} \quad (3)$$

$$Y_0 = C_b, \quad t > t_{rel} \quad (4)$$

여기서,

C_0 (Bq/gC) 노출 기간 동안 공기 중 방사능

C_b 공기 중 자연 방사능

t_{rel} (h) 노출 지속시간

2.2 실험

모델 검증을 위한 작물 재배는 가로 41 cm 세로 33 cm 높이가 23 cm의 재배상자를 이용하여 야외에서 수행되었다. 재배 조건은 일반 농가에서와 같은 조건으로 초기에 복합비료

Table 1. Relationship of the mean photosynthesis, respiration and translocation rate with the input parameters.

Rates	Period I	Period II	Period III
P_o	$\frac{M_b B_{max}}{\Delta t_1 (1-f_b)}$	$\frac{(1-f_i) M_g F_{max}}{\Delta t_2 (f_R (1-f_b))}$	$\left(\frac{((1-f_R)+f_i f_R)(1-f_i)}{f_R (1-f_b)} - f_i \right) \frac{M_g F_{max}}{\Delta t_2}$
$P_{o,b}$	P_o	$(1-f_R) P_o$	$(1-f_R) P_o$
$P_{o,g}$	-	$f_R P_o$	$f_R P_o$
$T_{b \rightarrow g}$	-	$\frac{f_i M_g F_{max}}{\Delta t_2}$	$\frac{f_i M_g F_{max}}{\Delta t_2}$
R_b	$f_b P_{o,b}$	$P_{o,b} - T_{b \rightarrow g}$	$P_{o,b} - T_{b \rightarrow g}$
R_g	-	$f_i P_{o,g}$	$P_{o,g} + T_{b \rightarrow g}$

30 g, 유기질 비료 120 g을 각 포트마다 혼합하였다. 벼는 5월 하순 각 포트마다 6포기씩 포기당 4주를 이식하였고 추가 비료는 농가에서 전통적으로 관리하는 방법을 준수하여 재배 중간에 성장 단계에 따라 3회 살포하여 재배하였다. 벼 이식은 최초 8월 11일에 출수하기 시작 하였고 10월 13일에 추수하였다. 주요 재배 및 실험 일정은 표 2에 나타나 있다.

피폭 실험 과정에 대한 일반적인 개념도는 그림 2에 도시되어있다. 벼가 자라고 있는 재배 상자를 가로 95 cm 세로 130 cm 높이 95 cm의 투명 아크릴 상자에 넣고 상자 내에서 0.5 mol의 HCl과 5 mmol의 $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ 가 용해된 100 mmol의 용액을 반응시켜 $^{14}\text{CO}_2$ 가스를 발생시킨다. 용액의 반응은 20분내에 완료되었고 가스를 상자 내 골고루 분포시키기 위하여 순환 펌프를 가동하였다. 작물의 피폭은 용액의 반응시간을 포함 총 45분 동안 계속 되었고 피폭 상자내의 조건을 조사하기 위해 매 5분 간격으로 상자내의 온도, 습도, 조도를 기록하였고 상자 내 공기 중 $^{14}\text{CO}_2$ 가스 포집을 위하여 permaflou 및 carbosorb 혼합 용액 10 ml가 들어있는 용기에 통과시켰고, 이를 계측하여 공기 중 $^{14}\text{CO}_2$ 의 농도를 구하였다.

피폭이 종료된 후 분석을 위한 시료 채취는 1) 피폭 직후, 2) 1일 경과 후, 3) 5일 경과 후 4) 15일 경과 후 및 5) 수확기로 구분하여 벼에 대한 샘플을 채취하였다. 채취된 샘플은 계측을 위하여 충분히 건조시키고 쌀알과 왕겨 그리고 몸체로 구분하여 파우더 형태로 제작하고 oxidizer를 이용하여 완전 연소시키면서 permaflou 및 carbosorb 혼합 용액에 carbon을 회수하여 계측하였다.

3. 결과 및 고찰

본 모델을 이용하여 노출 지속 시간에 따른 효과와 노출 시기의 영향 그리고 ^{14}C 방사성 입력 인자의 영향 등이 조사되었다. 예측에 사용된 입력 인자의 값들은 표 3에 요약되어 있다. 본 모델에서 작물 성숙단계의 전체 탄소 함성분 중 20%는 전이에 의해 전달된 것으로 가정하고 f_r 를 0.2로 정하였다. 작물의 광합성과 호흡의 비율은 이전 연구를 참조하여 작물 몸체의 경우 0.3(f_p), 이삭의 경우 0.4(f_s)로 정하였다. 또한, 자료의 부족으로 인하여 f_r 의 값은 0.5로 가정하였는데 이것은 이삭의 광합성 비율은 작물의 전체 광합성 비율의 절반임을 의미한다.

노출 지속 시간은 작물의 ^{14}C 오염에 중요한 영향을 미치는 요소 중의 하나이다. 그림 3은 개화기 이전과 개화기 이후 서로 다른 일자에 노출된 벼의 ^{14}C 오염을 예측하였을 때 공기 중 ^{14}C (Y_a , Bq/gC) 농도에 대한 작물(Y , Bq/gC)의 ^{14}C 농도의 비를 보여준다. 초기 400시간 동안은 급격하게 비가 증가하였고 이후는 비교적 완만하게 증가함을 보여 8월 4일부터 피폭된 경우 수확기에 거의 1에 접근하였다. 이런 모델의 예측 결과는 비 방사능 모델에 의한 계산 결과와 비교적 잘 일치하고 있다. 이는 결국 본 모델이 원자력 시설의 사고 기간 뿐만 아니라 정상 운영에 따른 주변 작물의 연간 방사선량 추적 모델로도 적용할 수 있음을 보여준다. 실제 실험 결과로 8월 31일에 실험한 45분간의 노출에 대하여 이삭의 비율은 6.2×10^{-4} Bq/gC 이었다. 노출이 8월 31일부터 수확기까지 일정하게 되었다고 가정할 경우 이삭의 비율은 이전의 경우보다

Table 2. Major Milestone for ^{14}C Exposure Experiment of Rice.

Rice Planting	First Exposure	Come into Ears	Second Exposure	Third Exposure	Forth Exposure	Fifth Exposure	Harvest
22 May	04 Aug.	11 Aug	17 Aug.	31 Aug.	07 Sep.	14 Sep.	13 Oct.

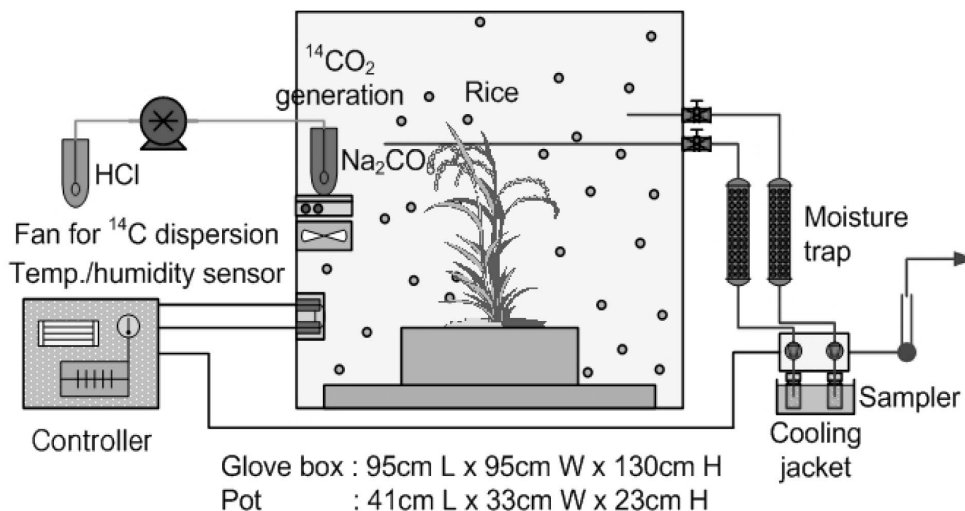


Fig. 2. ^{14}C fumigation diagram for rice plant.

Table 3. Input parameters for the rice-plant used in the model predictions.

Input parameters	Range	Value
- Biomass of plant body (shoot + root) at fully developed stage, B_{max} (kgWW/m ²)	-	6.11*
- Biomass of ears at fully developed stage, B_{max} (kgWW/m ²)	-	1.72
- Contribution of translocation to total ears maturity, f_r (-)	0.1-0.3	0.2
- Ratio of respiration rate to photosynthesis rate of plant body, f_b (-)	0.1-0.5	0.3
- Ratio of respiration rate to photosynthesis rate of ears, f_e (-)	0.2-0.6	0.4
- Ratio of photosynthesis rate of ears to total photosynthesis rate of plant, f_s (-)	0.2-0.8	0.5
- Carbon content of plant body, M_b (gC/kgWW)	-	180
- Carbon content of plant ears, M_e (gC/kgWW)	-	378
- Time period from transplanting to flowering, Δt_1 (day)	-	81
- Time period from flowering to maturity of ears, Δt_2 (day)	-	45
- Time period from maturity of ears to harvest, Δt_3 (day)	-	19

*The value includes the weight of root that was assumed to be 18% of the total weight of the plant body

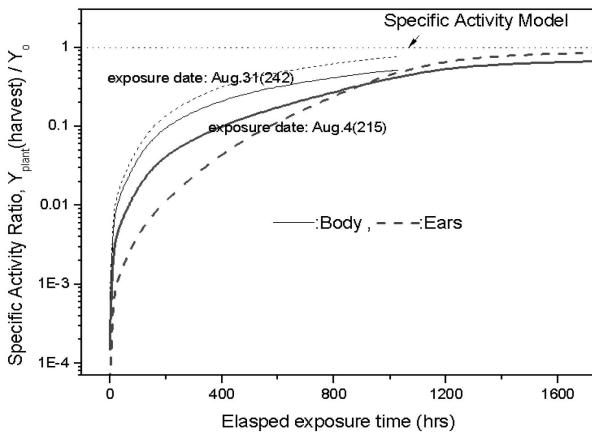


Fig. 3. Effect of the elapsed exposure time on the predicted ¹⁴C radioactivity of the plant.

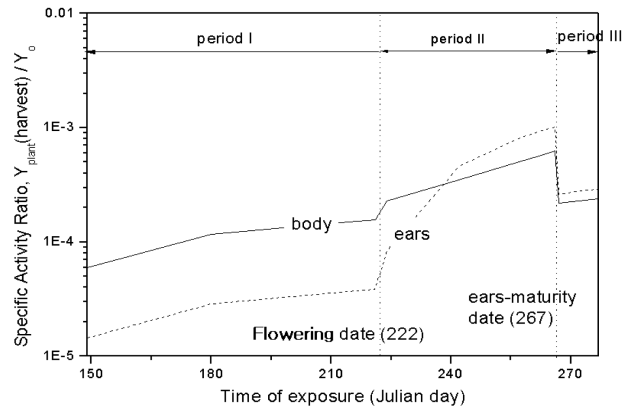


Fig. 4. Effect of the exposure time on the predicted ¹⁴C radioactivity of the plant.

약 1,000배 더 커진 0.76 Bq/gC 이 될 것이다. 이것은 8월 31일에 한 시간 동안 1,226 Bq/gC의 ¹⁴CO₂가 공기 중으로 노출된 작물의 방사성 ¹⁴C가 8월 31일부터 수확기까지 1 Bq/gC의 ¹⁴CO₂가 공기 중으로 방출된 결과에 의해 예측 된다는 것을 의미한다.

작물이 ¹⁴CO₂에 노출되었을 때 작물의 성장 단계는 ¹⁴C 오염에 영향을 미치는 중요한 변수이다. 그림 4는 작물이 ¹⁴CO₂에 45분간 노출되었을 때 수확기 ¹⁴C 오염 예측에서 노출 시기의 영향을 보여준다. 노출이 개화기 이전(1 단계)에 일어났을 경우, ¹⁴C는 광합성을 통하여 안정된 탄소 동위원소와 함께 몸체에서 합성됨과 동시에 저장된다. 이 중 일부는 작물의 생존에 이용되고 일부는 수확기까지 몸체에 남아있게 된다. 개화기 이전에 노출되었을 경우, 노출 당시에는 이삭이 없지만 성장 단계에서 전이에 의해 이삭도 오염된다. 이런 경우 이삭의 오염 정도는 몸체의 ¹⁴C 활용 수위와 전이 계수에 의해 결정된다. 작물이 이삭의 성숙기 이전(9월25일)에 ¹⁴CO₂에 노출되었을 경우 그 이후에 노출된 경우보다 오염도가 높

게 예측되었다. 이삭의 가장 높은 ¹⁴C 오염은 노출 시기가 작물의 성숙기에 가까운 2단계에 노출되었을 때 나타난다. 이 기간에는 호흡에 의한 ¹⁴C 누적 손실이 최소가 되고 광합성에 의한 ¹⁴C의 증가가 가장 높다. 작물이 성숙기 이후에 ¹⁴CO₂에 노출되었을 경우 작물의 ¹⁴C 오염은 수확기에 가까워 질수록 ¹⁴C의 누적 손실이 적기 때문에 높게 예측되었다. 작물의 성숙기가 지나면 본 모델의 가정에 따라 작물의 성장에 의한 ¹⁴C 회식 효과는 없다. 따라서 작물이 완전히 성숙하여 충분히 익었을 시기에 노출이 일어났을 경우(3 단계), 몸체와 이삭의 ¹⁴C 농도는 2단계와 비슷하게 예측되었다. 그 이유는 그 기간에 상대적으로 광합성량이 적었기 때문이다.

작물의 ¹⁴C 농도와 관련된 특정 입력 요소의 영향은 8월 4일과 31일에 45분간 ¹⁴CO₂에 노출된 작물의 수확기 방사능 비가 다른 요소의 변화가 없을 경우로 가정하고 예측할 수 있다. 각 변수에 대한 변이는 f_b 는 0.1에서 0.5, f_e 는 0.2에서 0.6, f_s 는 0.1에서 0.3, f_r 는 0.2에서 0.8이다. 비록 그래프로는 나타나지 않지만, 각 변수의 영향은 노출의 마지막에 점진적으로

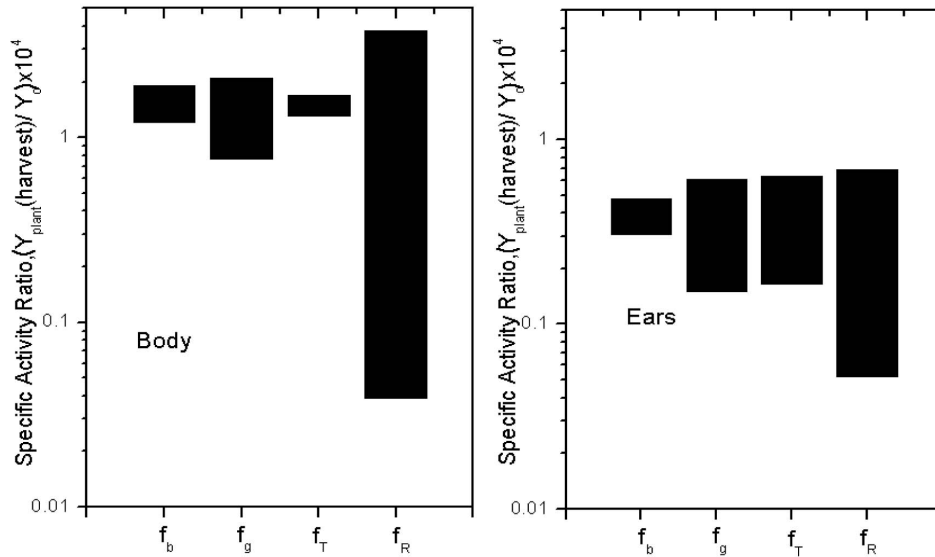


Fig. 5. Effect of the input parameter on the predicted ^{14}C at harvest of the plants exposed to $^{14}\text{CO}_2$ for 45 minutes on August 4(215).

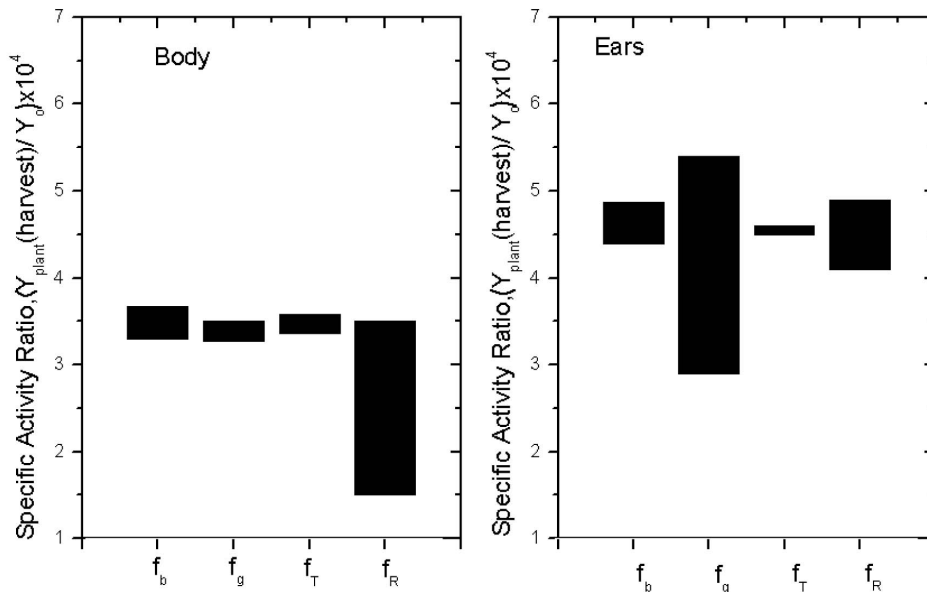


Fig. 6. Effect of the input parameter on the predicted ^{14}C at harvest of the plants exposed to $^{14}\text{CO}_2$ for 45 minutes on August 31(242).

증가함을 보이고 수확기에 최고조임을 보여주므로, 수확기에 대한 결과가 예로 채택되었다. 8월 4일에 노출된 경우, 몸체와 이삭의 ^{14}C 방사능 농도 모두 f_b, f_g 및 f_T 에 비해 f_R 의 값에 특히 민감하였다. 이삭의 ^{14}C 방사능 농도는 4 요소에 대해서 모두 몸체에 비해 1 지수 정도 낮았다(그림 5).

8월 31일에 노출된 경우, f_R 이 몸체의 ^{14}C 방사능 농도에 가장 큰 영향을 미쳤고 f_g 는 쌀알의 농도에 대하여 영향이 가장 컸다. 그렇지만 각 요소의 최대 비율과 최소 비율의 차이는 대체로 2배 이내였다(그림 6).

본 모델의 예측 결과와 실험에 의해 얻어진 관측 결과를 비교함으로써 본 모델의 예측능력을 검사하였다. 그림 7은

단기간 노출을 모사하기 위해 특별히 제작된 피폭상자에서 45분 동안 $^{14}\text{CO}_2$ 에 노출된 벼의 ^{14}C 방사능을 시간대별로 관찰한 결과와 모델의 예측 결과를 도시하였다. 실험결과 몸체의 ^{14}C 방사능은 노출 직후 단기간에 급격히 증가하였고 그 이후 호흡과 전이로 인하여 손실되는 만큼 몸체에서 ^{14}C 가 감소하였다. 몸체의 방사능은 시간 경과에 따라 피폭 직후 광합성을 통하여 안정적인 탄소 동위원소로 대체되는 ^{14}C 만큼 감소한다. 이 결과는 모델의 예측과 잘 일치하였다. 비교 결과, 모델 예측이 실험의 결과와 잘 일치함을 보여주지만, 부분적으로 실험 결과와 약간의 차이가 있다. 모델은 전 기간에 대한 이삭의 ^{14}C 방사능이 실험 결과보다 낮다고 예측하였다.

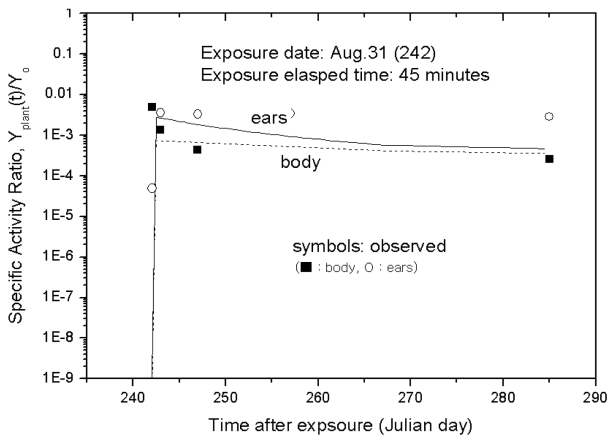


Fig. 7. Comparison of the model predictions with the observed ^{14}C radioactivity of the plants exposed to $^{14}\text{CO}_2$ for 45 minutes on August 31(242).

이삭에 대한 가장 큰 차이는 수확기에 나타났다. 피폭 후 초기 단기간에 대한 몸체의 ^{14}C 방사능은 낮게 예측되었다. 피폭 직후 몸체의 ^{14}C 방사능은 관찰된 것 보다 6.4배 적게 나타났다. 그 이후에는 1.8 정도로 비교적 잘 일치하였다. 초기 단기간에 대한 몸체의 ^{14}C 방사능에 대한 가장 큰 차이는 피폭 실험 당시의 실제 광합성 비율이 모델에서 예측한 작물 성장기 전체기간의 평균치보다 높았기 때문에 발생했을 가능성이 있다고 볼 수 있다. 실험에서는 측정된 조도는 82.9 Klx 으로 높아 이로 인하여 왕성한 광합성이 발생하였음을 알 수 있다.

본 모델의 예측에 사용된 입력 변수는 이전의 실험 또는 연구결과를 참조하거나 가정에 의해 결정되었고 모델의 타당성을 조사하기 위하여 단기간 벼를 $^{14}\text{CO}_2$ 가스에 노출시켜 그 변화를 관찰하였다. 실험결과 얻어진 결과는 모델과 비교하여 추후 작물의 호흡비율 및 기상조건의 영향을 고려하여 통합적인 예측모델 개발에 활용될 예정이다.

4. 결론

본 논문에서는 예측 모델이 원자력 시설의 정상 운영과 비 정상 운영으로 인하여 방사성 물질의 외부 유출이 일어났을 경우 작물에 어떻게 오염되는지 예측 가능성을 보였다. 단기간 노출에 따른 작물의 ^{14}C 방사능은 광합성이 왕성한 시기인 작물의 개화기와 성숙기 사이에 피폭이 발생 하였을 경우 가장 높게 예측되었다. 실험결과와 모델간 비교에서 현재 모델이 약간의 차이는 있지만 대체적으로 잘 묘사 되었음을 알 수 있다. 이러한 결과는 본 모델이 사고나 기타 이유로 비 정

상적으로 방출된 $^{14}\text{CO}_2$ 로 인하여 원자력 시설 주변에서 자라는 작물의 ^{14}C 방사능 농도를 예측하는데 유용함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부가 주관하는 원자력 중장기 연구의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Aquilonius K, Hallberg B. Process-oriented dose assessment model for ^{14}C due to releases during normal operation of a nuclear power plant. *J. of Environ. Radioactivity*, 2005;82:267-283.
2. Shinohara K. Assessment of radiological effects on the regional environment due to the operation of the Tokai Reprocessing Plant. *J. of Environ. Radioactivity*, 2004;72:299-322.
3. USNRC. Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor effluents for the purpose of evaluating compliances with 10 CFR, Part 50, Appendix I. *USNRC Regulatory Guide 1.109 Revision 1. USNRC*, 1994.
4. Killough GG, and Rohwer PS. A new look at the dosimetry of ^{14}C released to the atmosphere as carbon dioxide. *Health Physics*, 1978;34:141-159.
5. Pearce KI. CARBON2- A computer code for the prediction of the time dependent uptake of CARBON-14 by crops and milk. *TD/RPB/REP/0082 Environmental Technology, Nuclear Electric plc*, 1992.
6. Smith GM, Robinson PC, Stenhouse MJ. C-14 food chain modeling following release to atmosphere. *A report for the Food Sciences Division of Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, UK, IE3725-1, May*, 1994.
7. Andoh MA, Amano H. Development of dynamic compartment model for estimation of C-14 behavior in paddy field. *Proceedings of the International Symposium on Modeling and Radioecology, Rokkasho, Aomori, Japan, October 22-24, 2003, Institute for Environment Science, Japan*, p480.
8. Collins CD, Bell JNB. Experimental studies on the deposition to crops of radioactive gases released from gas-cooled reactors-III Carbon-14 dioxide. *J. Environ. Radioactivity*, 2001;53:215-229.
9. Kang HS, Lee HS, Jun I, Choi YH. Transfer of ^{14}C in Rice Plants directly exposed at different growth stages. *Transaction of Korean Nuclear Society Spring Meeting, Jeju, Korea, May 10-11, 2007*.
10. Jun I, Kang HS, Keum DK, Choi YH, Lee HS. An Experimental study of the ^{14}C transfer form air to rice plant by photosynthesis. *International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, Rokkaso, Aomori, Japan, October 18-20, 2006*.
11. Jun I, Lim KM, Choi YH, Keum DK, Lee CW. Transfer of ^{14}C into rice plants following a direct exposure to $^{14}\text{CO}_2$ gas. *Transaction of Korean Association for Radiation Protection Fall Meeting, Jeju, Korea, Nov. 1-2, 2007*.

Predicting of the ^{14}C Activity in Rice Plants Exposed to $^{14}\text{CO}_2$ Gas for a Short Period of Time

In Jun, Kwang Muk Lim, Dong Kwon Keum, Young Ho Choi and Moonhee Han
Korea Atomic Energy Research Institute

Abstract - This paper describes a dynamic compartment model to predict the time-dependent ^{14}C activity in a plant as a result of a direct exposure to an amount of $^{14}\text{CO}_2$ for a short period of time, and experimental results for the model validation. In the model, the plant consists of two compartments of the body and ears, and five carbon fluxes between the compartments, which are the function of parameters relating to the growth and photosynthesis of a plant, are considered. Model predictions were made for an investigation into the effects of the exposure time, the elapsed exposure time, and the model parameters on the ^{14}C radioactivity of a plant. The present model converged to a region where the specific activity model is applicable when the elapsed time of the exposure was extended up to the harvest time of a plant. The ^{14}C activity of a plant was predicted to be the greatest when the exposure had happened in the period between the flowering and ears-maturity on account of the most vigorous photosynthesis rate for the period. Comparison of model predictions with the observed ^{14}C radioactivity of rice plants showed that the present model could predict the ^{14}C radioactivity of the rice plants reasonably well.

Keywords : ^{14}C , Rice, Photosynthesis, Respiration, Translocation