

**벼에 대한 원소상 Iodine의
침적속도에 관한 연구**

**A Study on Deposition Velocity of
Elemental Iodine for Rice**

이창민^{*1}, 임광목*, 이원윤*, 박효국*, 최용호*, 박진원¹

* 한국원자력연구소, 1 연세대학교

요 약

원소상 I의 벼에 대한 침적속도를 구하기 위하여 벼에 대한 I피폭 실험을 9차례에 걸쳐 피폭상자 내에서 수행하였다. 벼의 생장단계에 따라 원소상 I을 피폭하였으며, 피폭직후 벼를 채취하였다. 채취된 벼의 농도는 ICP-mass spectrometry법으로 측정하였고, 이 값을 이용하여 단위 면적당 작물체 침적속도를 산출하였다. 작물체 총 침적속도는 이식 후 침적시기가 늦어질수록 점점 증가하다가 출수 이후에는 거의 일정한 값을 유지하였다. 본 연구에서의 침적속도는 평균 약 0.042cm/s로 일본의 연구에서와 비슷한 값을 보이고 있다.

Abstract

Rice plants were exposed to elemental iodine in an exposure box at nine different times to investigate deposition velocity of elemental iodine onto vegetation. Rice samples were collected immediately after each exposure. Iodine concentrations were measured by the method of ICP-mass spectrometry. The deposition velocity onto the plants in unit area was calculated using measured air and plant concentrations. The deposition velocity increased as plants grew for a periods after transplanting and then kept almost constant after heading. The average deposition velocity in this study is about 0.042 cm/sec. This is comparable to the value from a similar experiment in Japan.

1. 서 론

방사성 Iodine은 사고중이나 정상 운전 시에 원자력관련 설비들로부터 환경 중으로 방출되어지는 가장 중요한 핵종 중에 하나이다.[1] I-131은 반감기가 약 8일 정도로 비교적 짧지만 사고시 매우 많은 양이 일시에 방출되므로 그 영향을 무시할 수 없으며, 유통기간이 짧은 grass - cow - milk의 경로에 있어서 특히 중요하다. 또한 1.6×10^7 년 정도의 긴 반감기를 가지고 있는 I-129는 원자력 시설 주변지역 등에서 지속적으로 축적되고 있다는 보고[2]들이 많이 있으므로 피폭에 있어 반드시 고려되어야 하는 핵종 중 하나이다. I-129는 비록 낮은 준위의 베타(최대 에너지: 0.15 Mev)와 감마선(0.04 Mev)을 방출하지만 갑상선에 아주 잘 축적이 되기 때문에 체내로 섭취된 경우 오랜 시간 피폭을 받게 된다.[3].

핵종들이 대기로부터 작물을 통하여 인체로 이동하는 경로에는 크게 두가지가 있다. 그중 하나는 대기-토양-작물-인체의 경로이고, 또 하나는 대기-작물-인체의 경로이다. 전자의 경우 중요시되는 파라미터는 토양에서 작물체로의 전이계수이고, 후자의 경우는 대기에서 작물로의 침적속도이다.[1]

침적속도는 대기로부터 작물체로의 내 핵종의 침적량을 예상하는데 사용되는 인자이다. 이에 대하여 국외에서 목초나 엽채류등에 관한 연구들이 많이 수행되어 왔으나[4,5], 국내에서는 연구가 미흡하고, 또한 우리나라의 주식작물인 곡류에 대한 자료들은 많이 부족하므로, 직접 실험을 수행하여 이 인자에 대한 자료를 얻고자 하였다.

2. 재료 및 방법

1) 작물 육성

우리 나라의 장려품종인 동진벼를 플라스틱 포트에 이식하여 야외에서 육성하였다. 포는 가로가 41cm, 세로가 33cm, 높이가 25cm로 재배토를 넣은 다음 수돗물로 관개하여 논 상태를 재현하였다. 시비는 포트 당 6.1g의 복합비료 (N : P : K = 21% : 17% : 17%), 15g의 소석회 및 50g의 부숙퇴비를 이식 2일전에 기비로 주었

고 이식 후 8월말까지 3회에 걸쳐 적당량의 복합비료를 추가로 공급하였다.

1999년 5월 21일 동진벼의 모를 상자 당 6주씩 1주 4분식으로 10여 개의 포트에 이식한 후 관행에 준하여 작물을 관리하였다.

2) 작물체 I가스 피폭

벼 이식 후 수확 시까지 생육단계에 따라 9차례에 걸쳐 피폭 상자 내에서 매회한 포트의 작물체를 I가스(I_2)에 피폭시켰다. 피폭 상자는 크기가 118cm(L) × 92cm(W) × 150cm(H)로 투명한 합성수지로 제작하였고 내부에 온·습도 센서와 광센서를 부착하였다. 작물체 I가스 피폭은 그림1과 같이 피폭 상자 내에 I_2 크리스탈을 배치한 후 fan을 작동시켜 승화된 가스가 흡입되어 하부공간을 한바퀴 돌아 작물체에 도달하도록 하였다. 1회 피폭 시 I_2 크리스탈 처리량은 35~60mg정도였고 이중 80분의 피폭시간 동안 승화된 양은 90~100%였다.

작물체 피폭 중 8분간씩 활성탄 카트리지를 이용하여 피폭 상자 내 공기 중 iodine을 채취하였고 매 8분마다 온·습도와 조도를 측정하였다. 피폭일자는 7월7일, 7월21일, 8월11일, 8월18일, 8월23일, 9월1일, 9월4일, 9월 15일, 10월 5일이었고, 출수는 8월11일에 시작하였다

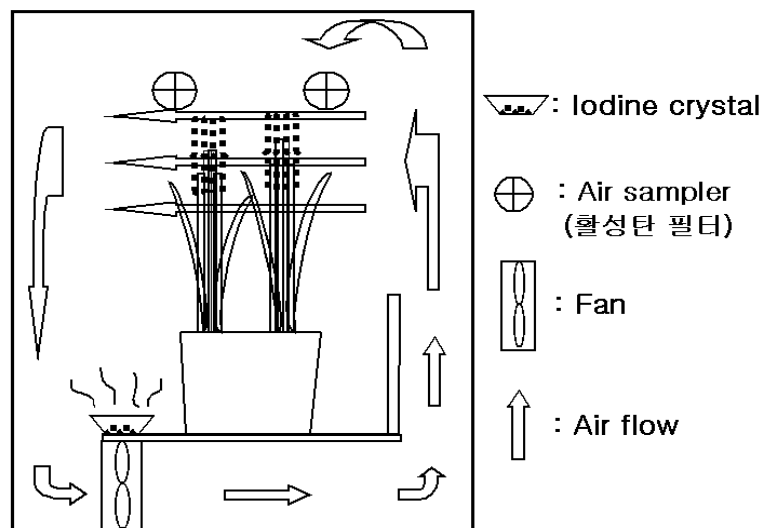


그림 1 Iodine 피폭 장치 개략도

3) 시료 채취 및 분석

피폭직후 1주당 2개체씩 총 12개체를 지상 약 7cm정도만 남기고 채취하여 잘게 나른 다음 두 그룹으로 나누어 비닐 봉지에 담고 Iodine의 손실을 최소화하기 위해서 밀봉하여 냉동 보관하였다. 출수 전까지는 분리 없이 보관하였으며, 출수 후에는 이삭과 줄기로 분리하여 보관하였다.

시료 내 iodine농도는 iodine를 화학적으로 분리한 다음 ICP-mass spectrometry법으로 측정하였다. 화학 분리 시 회수율(yield)은 I-125를 tracer로 사용하여 최종 산물 내 I-125의 농도를 γ -spectrometry법[6]으로 측정하여 구하였다.

4) 계산방법

침적속도는 계산방법에 따라 V_D (mass normalized deposition velocity), V_s (grain number normalized deposition velocity), V_g (deposition velocity per plants in unit area)등의 세가지로 나누어 볼 수 있는데, 계산방법은 다음과 같다.[7]

$$V_g(\text{cm/s}) = \frac{\text{mass of iodine on plants grown per unit area of ground}(\text{Bq/cm}^2)}{\text{iodine concentration in air}(\text{Bq/cm}^3) \times \text{exposure time}(\text{s})}$$

$$V_s(\text{cm}^3/\text{s}(100\text{grains})) = \frac{\text{mass of iodine on unit numbers of grains}(\text{Bq}/100\text{grains})}{\text{iodine concentration in air}(\text{Bq/cm}^3) \times \text{exposure time}(\text{s})}$$

$$V_D(\text{cm}^3/\text{s g}) = \frac{\text{mass of iodine on unit mass of plant (Bq/g)}}{\text{iodine concentration in air}(\text{Bq/cm}^3) \times \text{exposure time}(\text{s})}$$

침적속도는 땅표면을 덮고 있는 목초지에 대해 V_g 로 보통 나타내고, 곡류작물과 같이 서 있는 작물의 경우에는 V_D 로 더욱 많이 나타낸다. 일본의 자료[2]에 따르

면 V_S 는 가스상 I의 대기에서 이삭, 현미, 백미 각각의 기여분을 평가하는데 중요하다고 보고되고 있다.[8]

본 연구에서는 침적속도로 V_g 값을 구하고자 한다. 이는 단위 area당 작물의 무게비로 V_D 값과 상호변환이 가능하고, V_D 는 또한 100grain당 작물의 무게비를 이용하여 V_S 로의 변환이 가능하므로[7], 필요에 따라 변환값을 사용 할 수 있으리라 사료된다.

3. 결과 및 고찰

1) 피폭 상자 내 기상조건 및 공기 중 I가스 농도

표 1는 매회 피폭 시 피폭상자내 기상조건과 공기 중 I가스 농도를 측정된 결과를 보여주고 있다. 기온은 대체로 피폭이 진행됨에 따라 점점 상승하여 최고 13.5°C의 온도차가 나타났고 80분 동안의 평균기온은 피폭시기에 따라 18.2°C~37.8°C의 범위였다. 피폭 상자 내 상대 습도는 대체로 피폭이 진행됨에 따라 점점 감소하였고, 피폭시간동안 평균치는 46.4%~63.1%의 범위로 우리 나라에서 7월과 9월상에 관측되는 상대습도에 비해 다소 낮은 편이었다. 이것은 피폭 상자 내 기온의 상승과 냉동팩 표면에서의 수증기 응결현상에 따른 결과인 것으로 판단된다. 조도는 피폭이 진행됨에 따라 점점 증가하는 경향이었고 평균치는 최고 77.6klux, 최저 18.1klux로 측정되었다. 피폭 상자 내 공기 중 I가스 농도는 $2.6 \times 10^{-5} \text{ g/l} \sim 6.5 \times 10^{-5} \text{ g/l}$ 의 변이를 보였다.

표 1. Meteorological condition and I₂ concentration in the exposure box during each exposure.

| Code of exposure | Date of exposure | Temperature(℃) | | Rel. humidity(%) | | Radition(Klux) | | I ₂ conc.* in air(g/ℓ) |
|------------------|------------------|----------------|------|------------------|------|----------------|------|--------------------------------------|
| | | Range | Mean | Range | Mean | Range | Mean | |
| E1 | July.7 | 31.9-39.6 | 36.0 | 45.9-46.5 | 46.4 | 67.6-88.0 | 77.6 | 1.90E-05 |
| E2 | July.21 | 35.3-41.0 | 37.8 | 46.4-49.7 | 47.2 | 58.9-84.3 | 72.7 | 1.76E-05 |
| E3 | Aug.11 | 33.6-38.2 | 36.5 | 46.1-57.2 | 49.8 | 35.6-69.3 | 53.4 | 2.42E-05 |
| E4 | Aug.18 | 28.6-29.8 | 29.3 | 61.2-64.8 | 62.6 | 11.2-24.6 | 18.1 | 1.29E-05 |
| E5 | Aug.23 | 25.3-34.7 | 30.5 | 50.3-58.0 | 52.1 | 56.4-80.1 | 69.2 | 2.37E-05 |
| E6 | Sep.1 | 28.2-32.8 | 29.3 | 46.8-65.0 | 51.7 | 19.6-68.4 | 36.6 | 1.32E-05 |
| E7 | Sep.4 | 28.3-38.8 | 31.8 | 45.6-52.6 | 47.5 | 39.2-88.0 | 67.5 | 3.28E-05 |
| E8 | Sep.15 | 26.5-40.0 | 32.4 | 42.5-55.1 | 48.7 | 53.2-72.7 | 63.9 | 2.71E-05 |
| E9 | Oct.5 | 17.6-20.1 | 18.2 | 62.4-66.0 | 63.1 | 9.8-35.5 | 16.3 | 2.67E-05 |

* Average for the whole exposure time

이러한 변이는 I₂의 승화량, I₂의 상자내벽 흡착정도, 이전에 흡착되어 있던 I₂의 탈착정도, 외기로의 누설량, 작물체 흡수량등의 차이에 기인하는 것으로 생각된다. 한편 공기시료 채취 위치에 따라서도 공기중 농도가 달라진 것으로 예상된다.

2) 피폭직후 작물 내 Iodine농도

수확직후 작물체 내 Iodine농도를 측정해본 결과는 다음 (표2)과 같다.

쌀알 내 Iodine농도는 쌀알의 발육 초기인 8월18일 처리 시 최고였고 이후 피폭시기가 수확기에 가까워질수록 점점 감소하는 경향이였다. 줄기의 경우 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있다.

표 2. 시료별 작물체내 I의 농도

| Code of exposure | Date of exposure | I ₂ conc. in plant(ppm) |
|------------------|------------------|------------------------------------|
| E1 (total) | July.7 | 4.12 |
| E2 (total) | July.21 | 1.21 |
| E3 (total) | Aug.11 | 5.38 |
| E4 (이삭) | Aug.18 | 22.1 |
| (줄기) | | 5.55 |
| E5 (이삭) | Aug.23 | 9.80 |
| (줄기) | | 2.40 |
| E6 (이삭) | Sep.1 | 11.7 |
| (줄기) | | 1.75 |
| E7 (이삭) | Sep.4 | 15.6 |
| (줄기) | | 5.35 |
| E8 (이삭) | Sep.15 | 18.95 |
| (줄기) | | 10.75 |
| E9 (이삭) | Oct.5 | 13.2 |
| (줄기) | | 5.40 |

(3)벼에 대한 가스상 I의 침적 속도

그림2에서 보여지는 바와 같이 이삭 및 줄기에 대한 최대 침적 속도는 각각, 0.035cm/s, 0.06cm/s였고, 총 침적속도는 최대 0.087cm/s이었다. 총 침적 속도는 대체로 처음에는 비교적 급히 증가하다가 피폭시기가 수확시기에 가까워질수록 증가 경향이 둔화되었다. 출수 초기에는 줄기의 침적속도가 이삭침적 속도보다 2배정도 컸으나 그 이후에는 이삭과 줄기간에 비슷한 경향을 보이고 있다.

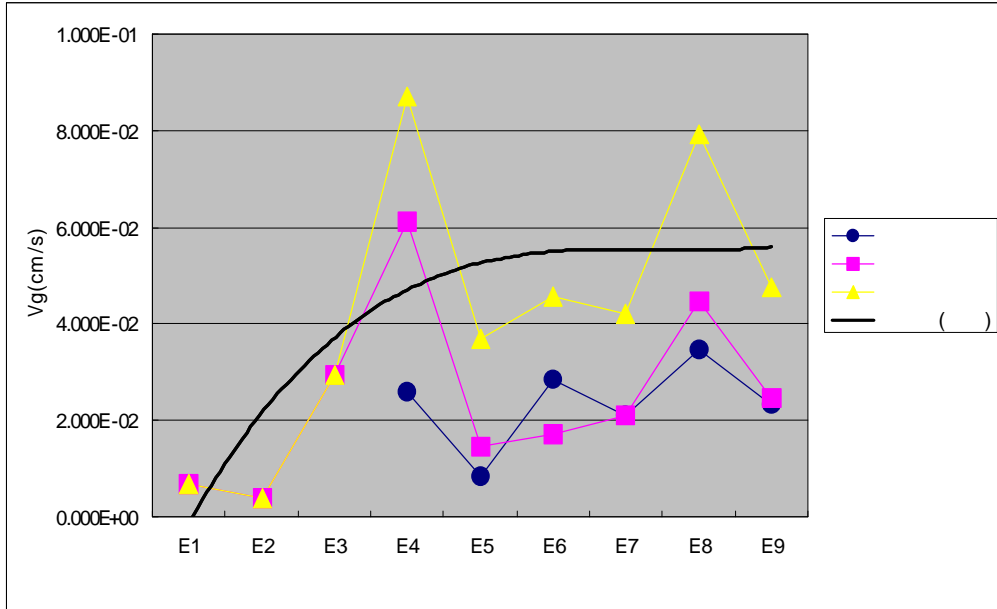


그림 2 시료별 침적속도

4. 결 론

I_2 가스의 곡물체에 대한 문헌정보가 부족하여 비교대상의 결정에 어려움이 많았다. 단지 일본에서 이루어진 벼에 대한 I가스의 피폭실험 결과값[1,2,3,5]과 비교해보면 약 10^{-2} cm/s의 값으로 본 연구에서와 유사한 값을 보여준다. 그러나 유럽에서 이루어진 목초지에서의 field 실험 결과값[4,9,10]은 10^{-2} m/s정도로 약 100배의 차이를 보이고 있는데 일본과 본 연구는 피폭상자 내에서 이루어진 실험인데 반해 유럽에서는 실제 field에서 이루어진 실험으로 실험 당시의 기상상태에 따른 차이에 기인한 결과로 보여진다. 또한 목초와 벼라는 실험대상의 생리적 차이에 기인한 것으로 사료된다.

인체로의 피폭은 쌀알에 축적된 방사능량에 의해 좌우된다. 본 실험에서는 출수 후 이삭에 대한 침적속도와 줄기에 대한 침적속도는 큰 차이가 없었고, 경엽부로부터 쌀알로의 I 전류는 미미하다는 보고[8]들이 있으므로, 출수 후에는 이삭으로의 직접 침적이 줄기로의 침적 보다 선량기여도가 훨씬 클 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 중장기 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. Shigeo Uchida, Yasuyuki Muramatsu, Misako Sumiya and Yoichiro Ohmomo, Biological half-life of gaseous elemental iodine deposited onto rice grains, Health physics, Vol.60, No.5 pp. 675~679. 1991
2. Shigeo Uchida, Misako Sumiya, Yasuyuki Muramatsu and Yoichiro Ohmomo, Deposition Velocity of Gaseous I to Rice Grain, Health Physics, Vol 55, pp 779-782, 1988
3. Yuji Nakamura, Shigeo Uchida, Misako Sumiya and Yoichiro Ohmomo, Transfer of Gaseous Iodine to Rice Plants, J. of Radiation research, Vol. 27, pp 171-182, 1986
4. P. J. Barry and A.C. Chamberlain, Deposition of Iodine onto Plant Leaves from Air, Health Physics, Vol.9, pp. 1149-1157, 1963
5. K. Heinemann and K. J. Vogt, Measurements of the Deposition Velocity of Iodine onto Vegetation and of the Biological Half-Life of Iodine on Vegetation. Health Physics, Vol. 39, pp 463-474, 1980
6. J. W. Olesik, Anal. Chem. Plasma Atomic Emission Spectroscopy. Boca Ration, CRC Press, 1990.
7. Misako Sumiya, Shigeo Uchida, Yasuyuki Muramatsu, Yoichiro Ohmomo and Hitoshi Obata, Transfer of Gaseous Iodine from Atmosphere to Rough Rice, Brown Rice and Polished Rice, Hoken Butsuri, 22, pp 265~268, 1987
8. Yasuyuki Muramatsu, Shigeo Uchida, Misako Sumiya and Yoichiro Ohmomo, Deposition Velocity of Gaseous Organic I from the Atmosphere to Rice Plants, Health Physics, Vol 71, pp 757-762, 1996
9. F.O. Hoffman, A Reassessment of the Deposition Velocity in the Prediction of the Environmental Transport of Radioiodine from Air to Milk, Health Physics,

2001 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

Vol. 32, pp. 437-441, 1977.

10. D.H.F. Atkins, R.C. Chadwick, A.C. Chamberlain, Deposition of Radioactive Methyl Iodide to Vegetation, Health Physics, Vol. 13, pp. 91-92, 1967.