방사선방어학회지
제17권 제2호 1992

■ 論 文 ■

국내 환경시료(쌀, 채소, 솔잎) 중 삼중수소의 분포

김창규 · 조용우 · 한만중 · 박찬걸

한국원자력안전기술원

요 약

환경시료중의 삼중수소준위를 조사하기 위하여, 국내 12개 지역에서 채취한 생물시료(쌀, 채소, 솔잎)중의 삼중수소를 분석하였다. 생물시료중의 삼중수소는 동결건조법과 건조시료의 연소법에 의해 조직자유수 삼중수소 (TFWT: Tissue-Free Water Tritium)와 조직결합수 삼중수소 (TBT: Tissue-bound tritium)로 분류 추출하였으며, 액체섬광계수기(Liquid Scintillation Counter)를 이용하여 각 시료중의 삼중수소를 측정하였다. TFWT 농도는 쌀의 경우 0.96~3.96 Bq/l, 배추는 0.83~3.40 Bq/l, 솔잎의 경우는 1.02~3.01 Bq/l 범위의 값을 나타내었으며, TBT/TFWT의 평균 농도비는 쌀의 경우 0.94, 배추는 1.71, 솔잎은 1.39의 결과를 나타내었다. TBT/TFWT 농도비가 1보다 높은 이유는 TBT가 TFWT보다 식물체내에서의 체류기간이 길기 때문인것으로 추측되며, TBT/TFWT의 농도비는 식물의 종류, 삼중수소에 대한 식물체의 피폭시간, 기온, 습도 및 대기확산 인자에 의해 크게 좌우된다.

Key words: 조직자유수 삼중수소, 조직결합수 삼중수소, 액체섬광계수기

1. 서 론

자연 환경중에 존재하는 삼중수소의 발생원은 크게 3가지로 분류할 수 있다. 첫째는 천연조건에서의 핵반응 즉 우주선의 양자, 중성자가 대기중의 질소및 산소와 상호 작용하여 생성되는데, 이와 같이 우주선과 대기 성분과의 핵반응에 의해 매년 1.5×10^{17} Bq/y의 삼중수소가 생성되어 년 5%의 비율로 방사능이 붕괴되기 때문에 지구상에는 약 1.3×10^{18} Bq이 평균적으로 존재하는 것으로 알려지고 있다[1,2]. 둘째는 1952년경부터 시작된 대기권 핵실험에 의한 것인데, 특히 1961년과 1962년 사이 미국과 소련의 대규모 핵실험에 의해 다량의 삼중수소가 대기권 상부에 방출되었다. 이러한 핵실험에 의해 방출된 삼중수소의 양에 관해서는 많은 연구자들에 의해 평가되었는데 Michel은 그당시 삼중수소의 방출량은 550 ± 150 kg 정도로서 핵실험 전보다도 150배 정도 증가하였다고 보고하고 있다[3]. 세번째 발생원은 원자력발전소및 핵연료 재처리시설로서 삼중수소는 핵연료인 우라늄과 플루토늄의 핵분열에 의해 생성되며, 경수로의 1차 냉각수중에 첨가되는 붕소 및 중수로에서 사용되는 중수소의 중성자 포획반응(Neutron capture reaction)에 의해 생성된다. 또한 사용하고 남은 핵연료의 절단및 용해등 재처리 과정에서 발생되는데, 이러한 원자력

시설로부터의 삼중수소 방출량은 아주 적은 량으로 자연생성량의 10% 정도이지만, 미래의 에너지원으로서 각광받고 있는 핵융합로가 현실화되어 세계의 전력 전체를 공급할 경우 삼중수소의 방출량은 자연생성률의 5배 정도가 될 것으로 예측하고 있다[4]. 이와같이 삼중수소는 환경중 다량 방출 가능성과 환경에의 빠른 이동성 및 생물체의 구성원소인 수소의 동위원소로서 생물체에의 흡수율이 어느 동위원소보다 높다는 점을 고려할 때, 방사선 방호 및 환경오염 측면에서 매우 관심이 집중되는 방사성 핵종이다.

한편, 생물시료중의 삼중수소는 조직자유수 삼중수소(TFWT : Tissue Free Water Tritium)와 조직결합수 삼중수소(TBT : Tissue Bound Tritium) 라는 두가지 형태로 분류된다. TFWT는 세포조직내의 수분중에 존재하는 삼중수소를 말하며, TBT는 세포조직에 직접 결합되어 있는 삼중수소를 말한다. 인체조직을 구성하는 수소는 주로 식품의 유기물로부터 유래되는데, 식품중의 TBT가 TFWT보다도 인체 조직중에 흡수될 확률이 높기 때문에, TBT를 섭취할 경우 TFWT를 섭취한 경우보다 내부 피폭선량이 높아지게 된다[5]. 이러한 이유때문에 생물체내의 TFWT와 TBT에 관한 정보는 환경중의 삼중수소의 거동과 식품섭취에 따른 내부피폭선량을 평가하는데 중요한 기초자료가 된다. 이러한 관점에서 최근에는 인간 식생활과 밀접한 관계를 맺고있는 식품중의 삼중수소 분포에 관한 연구가 활기를 띄고 있다[6-8]. 그러나 우리나라의 경우 생물체내의 삼중수소에 관한 정보는 전무한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 환경보전 측면에서 국내에서의 삼중수소 자연환경준위를 조사하고, 원자력시설의 정상 가동에 따른 환경감시 및 원자력발전소 사고와 같은 비상시 환경영향평가에 필요한 기초자료를 마련하기 위하여 국내 12개 지역에서 국민의 식생활과 밀접한 관계가 있는 쌀과 채소에서 삼중수소의 농도준위를 조사하였으며, 삼중수소 준위의 변동을 파악하기 위하여 솔잎시료를 채취하여 TFWT와 TBT의 분포를 파악하였다.

2. 실험 및 방법

1. 시료채취

분석대상 시료는 한국인의 식생활과 밀접한 관계가 있으며 식품섭취에 따른 인체내부 피폭선량 평가에 도움이 될 수 있는 쌀과 배추, 그리고 환경감시 측면에서 환경삼중수소 준위를 파악하기 위해 솔잎을 선정하였다. 시료는 그림 1에 나타난

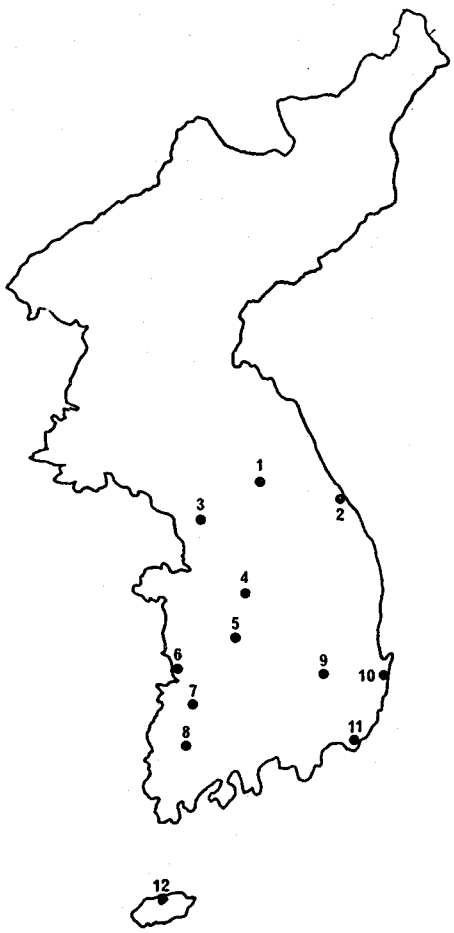

Fig. 1. Sampling sites

것처럼 전국 지방 방사능 측정소를 중심으로 12개 지역에서 추수기인 1991년 10월~12월초 사이에 채취하였다. 채취한 시료는 시료용기에 넣은 후 완전히 밀봉하여 외부로부터의 오염이나, 시료의 수분증발현상을 방지하였으며, 시료채취후 가능한 한 빠른 시일내에 분석을 실시하였다.

2. 시약

과산화나트륨(Na_2O_2), 과망간산칼륨($KMnO_4$) 및 산화동(CuO)은 분석용 특급시약을 사용하였으며, 시약 조제시에는 초순수(18MΩ/cm)를 사용하였다. 또한 극저준위 삼중수소수는 전기분해 농축한 다음 방사능 농도를 측정하여 Background에 영향을 주지 않는 것을 확인한 후 사용하였다.

측정시료는 유화 Scintillator로서 Insta-gel XF (Packard No. 6013394)를 사용하여 제조하였다.

3. 연소장치 및 연소방법

연소장치는 그림 2에서와 같이 연소관내에 주입하는 산소 및 질소가스 중에 포함되어 있는 소량의 수분을 제거하기 위한 가스 정제부분과 연소관 및 냉각Trap의 3부분으로 구성되어 있다. 연소관의 경우 시료의 급격한 연소현상을 피하기 위하여 내관과 외관의 2중관식으로 되어 있으며, 시료의 연소과정에서 발생되는 불완전 연소가스는 가열된 CuO부분을 통과시키므로써 완전 산화 연소시켜 제1냉각Trap과 제2냉각Trap에서 완전 연소된 가스를 포집하도록 구성되어 있다. 제2 냉각Trap은 제1냉각Trap에서 미처 포집되지 않은 소량의 연소가스를 완전히 포집하기 위하여 부수적으로 설치한 것이다.

시료로부터 조직결합수를 추출하기 위하여, 동결건조기(Model: LABCONCO Freeze Dry System)

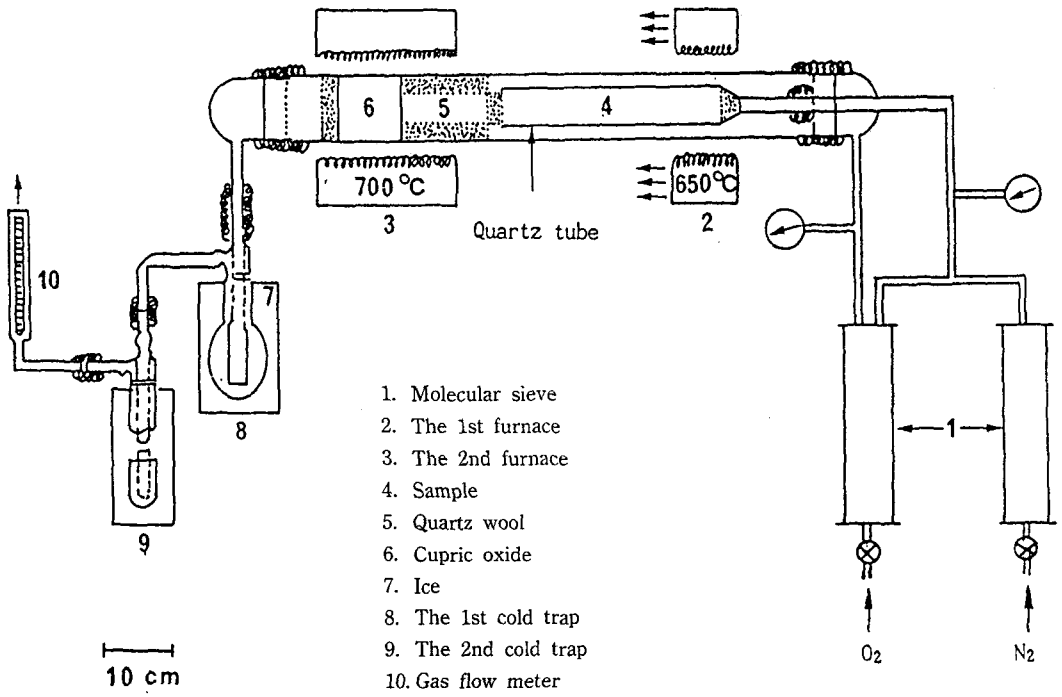

Fig. 2. Combustion Apparatus

를 사용하여 시료 중의 조직자유수 부분을 분리 추출한 다음, 연소장치의 내관부분에 건조시료(약 40g)를 넣고, 처음에는 CuO 및 Quartz wool에 포함되어 있는 수분을 완전히 제거하기 위하여 질소가스를 50ml/min의 유속으로 주입하면서 제2연소로의 온도를 서서히 상승시켜 온도가 700℃ 정도가 되게한 후 5~10분간 공연소시켰다. 그 다음, 산소와 질소를 각각 50ml/min와 80ml/min의 유속으로 내관에 주입하고, 외관에도 산소를 50 ml/min 속도로 동시에 주입하면서 제1연소로 온도를 650℃로 서서히 상승시켰다.

제1연소로의 온도가 650℃가 되면 연소로를 15min/cm 정도의 유속으로 제2연소로쪽으로 서서히 움직이면서 시료를 연소시켰다. 급격한 연소에 의한 불완전 연소현상을 방지하기 위하여, 연소상태를 확인하며, 연소로의 이동속도와 산소 및 질소의 유속을 적절히 조절하였다.

4. 측정시료 조제

동결건조 및 연소에 의해 얻어진 조직자유수 및 조직결합수를 증류용기에 넣고 $KMnO_4$약 0.1g을 첨가시킨 후 2~3일 방치하여, 시료에 존재하는 유기물을 완전히 분해시킨다음, $Na_2O_2$0.1g을 넣은 후 Mantle Heater를 이용하여 가열증류하였다. 증류된 시료수 수ml를 취하여, 적외선흡광광도계를 이용하여 유기물의 존재여부를 확인하여, 유기물이 존재할 경우에는 증류하여 얻어진 시료수에 다시 $KMnO_4$를 소량 첨가하고 재증류하였다.

정제된 시료수 8ml와 유화 Scintillator 12ml를 측정 Vial에 옮겨 혼합한 후 약 60℃에서 물중탕하였다. 시료가 균일하게 혼합되도록 잘 흔든 다음, Vial의 외벽을 깨끗이 닦아내고 냉암소에 24시간 방치 후 계측하였다. Background시료는 극저준위 삼중수소수 8ml와 유화 Scintillator 12 ml를 혼합하여 측정시료와 같은 방법으로 조제하여 Background측정에 이용하였다. 삼중수소 측정에는 액체섬광계수기(Liquid scintillation counter: Model LKB 1220 Quantulus)를 이용하였으며, Quenching 보정용 표준시료를 이용하여 시료의 계측효율을 보정한 다음, 시료중의 삼중수소를 계측하였다.

3. 결과 및 고찰

1. 조직자유수 및 조직결합수의 추출

동결건조법을 이용하여 시료로부터 조직자유수를 분리하였다. 먼저 시료로부터 조직자유수를 완전히 분리추출하는 데 소요되는 시간을 파악하기 위하여 동결건조시간에 따른 시료의 감소량 즉 조직자유수 포집량을 검토하였다. 그 결과를 그림 3에 나타내었는데, 배추 및 솔잎과 같이 수분을 많이 포함하고 있는 시료의 경우는 시료에

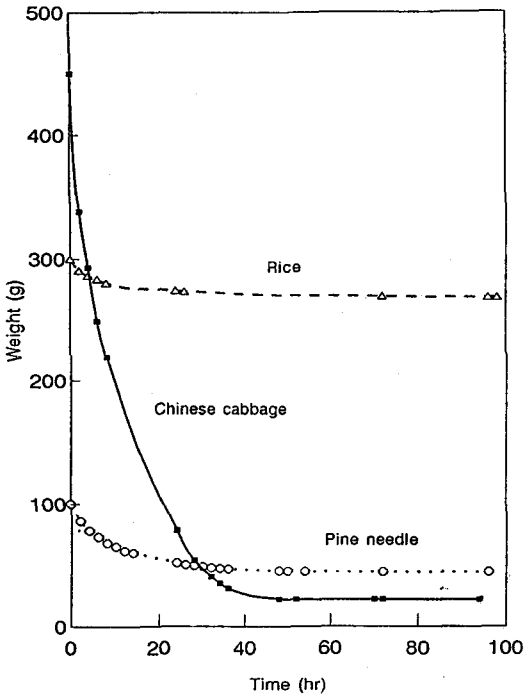

Fig. 3. Relation curve between the freeze-drying time and the variation of sample weight.

따라 다소의 차이는 있으나 약 50시간 정도가 경과하면 시료 감소량이 일정하게 되는 것을 알 수 있었다. 반면, 쌀의 경우는 시료에 함유된 수분량이 적기 때문에 약 20시간 정도에서 시료 감소량이 일정하게 유지되므로 배추 및 솔잎의 경우는 약 50시간 정도에서, 쌀의 경우는 약 20시간 정도에서 조직자유수를 완전히 분리할 수 있었다. 시료의 함수율은 시료에 따라서 약간의 차이는 있으나 배추의 경우는 95.0%, 솔잎의 경우는 55.6%이며, 쌀은 약 10.6%를 나타내었다.

생물시료중의 조직결합수를 얻기 위하여 동결건조법을 이용하여 조직자유수를 완전히 분리추출한 후 건조된 시료를 앞에서 설명한 연소방법에 따라 시료를 완전연소시켜 생성가스를 냉각시키므로써 조직결합수를 회수할 수 있었다. 연소에

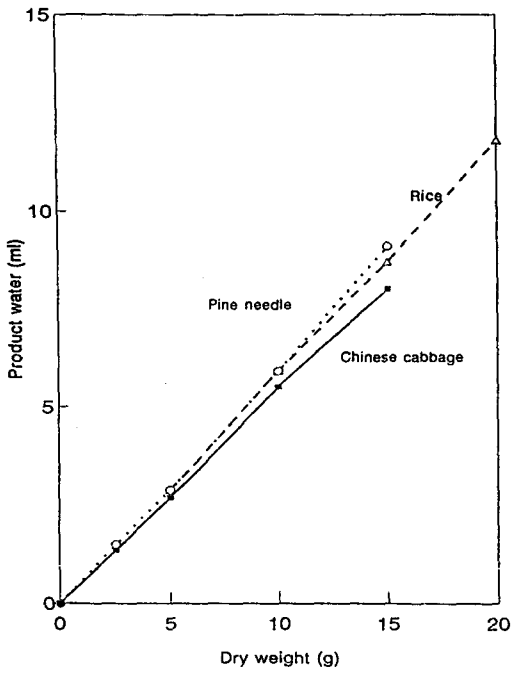

Fig. 4. Relation curve between the recovery of product water and the sample weight subjected to the combustion.

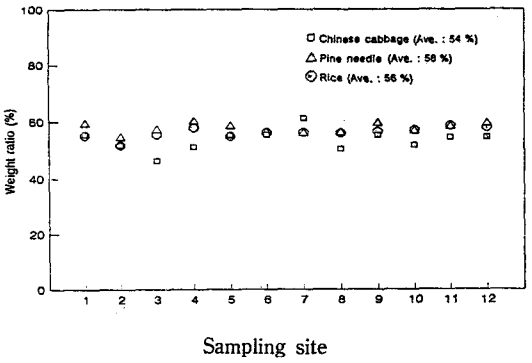

Fig. 5. Weight ratio of combustion product water against dried samples.

사용된 시료량과 연소 후 얻어진 생성수와의 관계는 그림 4에 나타낸 것처럼 서로 비례관계가 있음을 알 수 있으며, 그림 5에서처럼, 쌀, 배추 및 솔잎의 생성수의 회수율은 각각 58.6%, 54.6% 및 59.4% 였다. 삼중수소 계측에 필요한 시료수는 8ml이므로 생성수 회수율과 증류과정 및 유기물의 존재여부 확인을 위한 적외선 흡광 광도법 측정과정에서 생기는 생성수의 손실 등을 고려하여, 생성수의 양이 15ml 이상이 되도록 건조시료를 연소시켰다. 본 연구에서 사용한 연소장치를 이용하여 1회에 연소시킬 수 있는 최대연소량은 쌀 80g, 배추 30g, 솔잎 40g으로서 1회 연소로서 생성수 약 15ml 정도를 회수할 수 있었으며, 1회 연소에 소요되는 시간은 시료량에 따라 다르나 약 6~8시간 정도였다.

2. 연소장치의 효율 및 재현성

연소장치의 효율및 재현성을 검토하기 위하여, 삼중수소 표준용액(0.795 Bq/ml)을 일정량 분취하여 Quartz wool에 적신 후 연소장치의 내관속에 넣고 연소시켜 회수된 생성수(조직결합수)중의 삼중수소 농도를 계측하여 연소장치의 효율 및 재현성을 검토하였다. 표 1은 3회 반복 실험한

Table 1. Recovery of product water obtained by combustion of tritium standard solution

No.	Standard Solution* (g)	Product water (g)		Tritium concentration in product water (Bq/ml)	Recovery** (%)
		1st cold trap	2nd cold trap		
1	15.0	14.5	0.4	0.771± 0.008	97.0
2	14.9	14.6	0.2	0.769± 0.008	97.0
3	15.2	14.8	0.2	0.771± 0.008	97.1
Ave.					97.0

* The concentration of tritium standard solution: 0.795 Bq/ml

** The recovery indicates the percentage of the tritium concentration in product water to the concentration of tritium standard solution.

결과를 나타낸 것으로 생성수는 제1냉각 Trap에서 거의 회수되었으며, 연소장치의 평균 회수율은 97%로서, 매우 좋은 회수율을 나타내었다.

3. 생성수 중의 유기물 분해

연소후 얻어진 생성수에는 불완전연소에 의해 유기물이 혼입될 가능성이 있다. 유기물이 혼입된 생성수를 바로 계측하는 경우는 유기물의 화학형광에 의한 유사계수에 의해 계측치에 오차가 생길 가능성이 있다. 따라서 계측하기 전에 생성수 중의 유기물을 가능한 한 완전히 분해하여야 한다. 유기물이 생성수에 혼입되면 생성수가 착색되거나 냄새가 나는 경우가 있으며, 이러한 불완전연소 현상은 연소관에 공급되는 산소와 질소가스의 유량을 급격히 증가시키거나 연소로의 온도를 급격히 상승시켜 시료가 발화되기 때문이다. 따라서, 이러한 현상을 방지하기 위하여 유량계와 시료의 연소상태를 유심히 관찰하면서 시료를 연소시켜야 한다.

또한 생성수에 소량으로 잔존하고 있는 유기물은 생성수에 $KMnO_4$를 넣고 2~3일 방치한 후 시료를 2~3회 재증류하므로써 제거할 수 있었다. 그림 6은 적외선 흡광광도계를 이용하여 생성수중의 유기물을 측정한 결과를 나타낸 것으로, $KMnO_4$를 넣고 반복 증류하므로서 유기물 함량이 현저히 감소 되는 것을 알 수 있다.

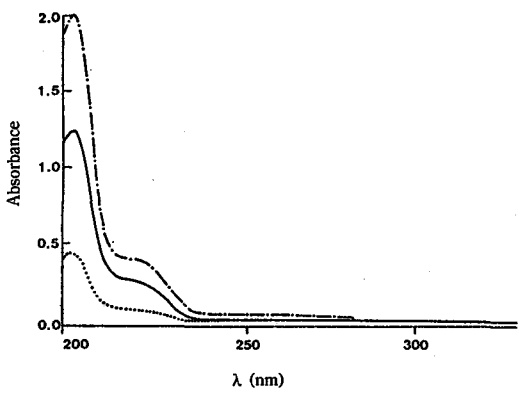

Fig. 6. Ultraviolet spectra of the combustion product water without distillation (– · – · –), distilled twice(———) and distilled triply(·····).

4. 쌀, 배추, 솔잎중의 TFWT 및 TBT의 농도

식물중의 TFWT의 생성과정은 크게 두 가지로 생각할 수 있는데, 첫째는 식물의 잎부분에 존재하는 수분과 주변 대기 중의 수분사이의 물분자

교환작용에 의해 식물의 잎부분에 흡수되며, 둘째는 토양으로부터 식물의 뿌리를 통해 잎부분으로 이동되는 경로를 생각할 수 있다. 반면 대부분의 TBT는 식물의 광합성작용에 의해 생성되며, 또한 식물체 내에서의 동위체 교환반응에 의해 생성된다.

쌀은 한국사람의 주식인 만큼 쌀중의 TBT의 분포는 내부피폭선량 측면에서 매우 중요한 요인이 아닐 수 없다. 표 2는 쌀시료중의 TFWT와 TBT의 농도를 나타낸 것이다. TFWT의 농도는 0.96~3.96 Bq/l 범위의 분포를 나타내었고, TBT의 농도는 1.04~4.05 Bq/l범위의 분포를 나타내었다. 또한 TBT/TFWT의 농도비는 0.63~1.66(평균값: 0.94)로서 Momoshima[9]가 발표한 1985년도 일본 쌀시료중의 TFWT 및 TBT의 평균값 2.6 Bq/l 및 1.8 Bq/l와 비슷한 결과를 나타내고 있다. 또한, Hisamatsu[10, 11]는 일본 Akita 지역에서 1986년 6월~7월및 10월~11월 사이에 채취한 쌀시료 중의 TBT/TFWT비는 각각 0.67 및 1.3이라고 보고하고 있는데 이러한 결과들은 본 연구에서 얻어진 결과와 유사한 값을 나타내고 있다.

표 3은 배추시료중의 TFWT와 TBT의 농도를 나타낸 것이다. TFWT 및 TBT는 각각 0.83~3.4 Bq/l, 1.24~3.91 Bq/l 범위의 방사능 농도를 나타내었으며, 그 평균값은 TFWT 1.71 Bq/l, TBT 2.60 Bq/l로서 Fallout준위의 값을 나타내었다. 이와같은 결과는 일본의 경우[9, 10]와 (TFWT: 1.2 Bq/l, TBT: 1.7 Bq/l) 비슷한 결과를 나타내었다. 또한, TBT/TFWT 농도비는 0.70~2.82 범위(평균 1.71)로서 TBT가 TFWT의 방사능보다 약간 높은 경향을 나타내고 있다. 표 4는 솔잎 중의 TFWT와 TBT의 농도를 나타낸 것인데 TFWT 및 TBT는 각각 1.02~3.01 Bq/l, 1.69~3.65 Bq/l 범위의 농도를 나타내었으며, 그 평균값은 TFWT 2.19 Bq/l, TBT 2.81 Bq/l로서 Takashima[12]가 보고한 1983년 일본 전지역에서 채취한 솔잎 중의 삼중수소 농도와 거의 비슷한 경향을 나타내었는데, 이와같은 결과는 일본이 기후나 환경조건 측면에서 한국과 유사하기 때문으로 판단된다. 또한 솔잎 중의 TBT/TFWT 농도비는 0.93~2.43

Table 2. Tritium concentrations in rices.

No.	Sampling site	Activity (Bq/l)		TBT/TFWT
		TFWT	TBT	ratio
1	Chuncheon	1.67 ± 0.13*	1.13 ± 0.16*	0.68
2	Kangneung	1.88 ± 0.14	1.55 ± 0.03	0.82
3	Seoul	2.92 ± 0.23	2.54 ± 0.21	0.87
4	Cheongju	2.44 ± 0.26	2.31 ± 0.56	0.95
5	Taejeon	0.96 ± 0.03	1.59 ± 0.17	1.66
6	Kunsan	1.04 ± 0.08	1.04 ± 0.07	1.00
7	Jeongju	2.71 ± 0.24	1.70 ± 0.60	0.63
8	Kwangju	1.10 ± 0.12	1.06 ± 0.10	0.96
9	Taegu	1.46 ± 0.09	1.69 ± 0.60	1.16
10	Kyongju	3.96 ± 0.24	4.05 ± 0.59	1.02
11	Pusan	1.46 ± 0.12	1.13 ± 0.18	0.77
12	Cheju	1.60 ± 0.10	1.16 ± 0.09	0.73
	Ave.	1.93 ± 0.87**	1.75 ± 0.84**	0.94

* Counting error.
** Standard deviation.

Table 3. Tritium concentrations in Chinese cabbages.

No.	Sampling site	Activity (Bq/l)		TBT/TFWT
		TFWT	TBT	ratio
1	Chuncheon	1.24 ± 0.04*	3.02 ± 0.21*	2.44
2	Kangneung	1.02 ± 0.17	2.14 ± 0.35	2.10
3	Seoul	2.08 ± 0.21	2.89 ± 0.59	1.39
4	Cheongju	1.61 ± 0.60	3.91 ± 0.60	2.43
5	Taejeon	2.96 ± 0.42	3.90 ± 0.21	1.32
6	Kunsan	1.67 ± 0.11	1.88 ± 0.10	1.10
7	Jeongju	1.04 ± 0.10	2.50 ± 0.25	2.40
8	Kwangju	0.83 ± 0.08	1.24 ± 0.11	1.49
9	Taegu	1.25 ± 0.04	1.43 ± 0.10	1.14
10	Kyongju	3.40 ± 0.40	3.73 ± 0.44	1.10
11	Pusan	1.02 ± 0.11	2.88 ± 0.58	2.82
12	Cheju	2.39 ± 0.21	1.67 ± 0.16	0.70
	Ave.	1.71 ± 0.80**	2.60 ± 0.91**	1.71

* Counting error.
** Standard deviation.

Table 4. Tritium concentrations in pine needles.

No.	Sampling site	Activity (Bq/l)		TBT/TFWT
		TFWT	TBT	ratio
1	Chuncheon	2.78 ± 0.24*	3.17 ± 0.22*	1.14
2	Kangneung	2.37 ± 0.24	2.84 ± 0.27	1.20
3	Seoul	2.53 ± 0.20	3.00 ± 0.31	1.19
4	Cheongju	-	-	-
5	Taejeon	2.71 ± 0.28	3.08 ± 0.31	1.14
6	Kunsan	2.29 ± 0.56	3.65 ± 0.45	1.59
7	Jeongju	1.03 ± 0.04	2.50 ± 0.18	2.43
8	Kwangju	2.08 ± 0.07	2.17 ± 0.27	1.04
9	Taegu	1.54 ± 0.22	2.97 ± 0.18	1.93
10	Kyongju	2.72 ± 0.59	2.52 ± 0.15	0.93
11	Pusan	3.01 ± 0.29	3.27 ± 0.29	1.09
12	Cheju	1.02 ± 0.09	1.69 ± 0.14	1.66
	Ave.	2.19 ± 0.67**	2.81 ± 0.52**	1.39

* Counting error.
** Standard deviation.

범위(평균 1.39)로써 배추와 마찬가지로 1보다 약간 높은 경향을 나타내었다. 그림 7은 전국 12개 지역의 쌀, 채소, 솔잎 중 TBT/TFWT의 농도비에 대한 빈도 분포를 막대 그라프로 나타낸 것이다. TBT/TFWT의 농도비는 쌀의 0.5~1.0 사이에서 빈도 분포가 가장 높고, 채소와 솔잎의 경우는 1.0~1.5 사이에서 가장 높은 빈도 분포를 나타내었다. Belot[7]는 1985년 프랑스에서 채취한 솔잎

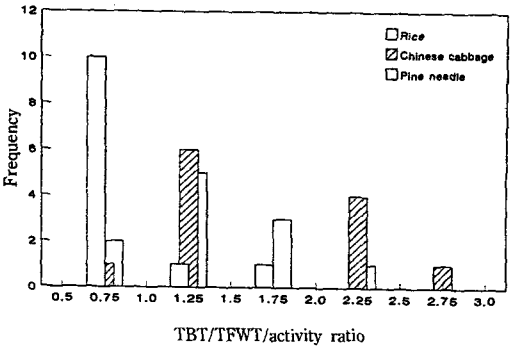

Fig. 7. Histogram for TBT/TFWT activity ratios of some biological samples collected at 12 sampling sites in Korea.

중의 TBT 평균 방사능은 47 Bq/l이며 TBT/TFWT비는 7.8이라고 보고하고 있다. 이와 같이 여러 연구자들의 논문을 보면 일반적으로 생물시료중의 TBT/TFWT 농도비가 1보다 높은 경향을 나타내고 있다.

한편, 식물내의 TBT가 생성되는 과정에서 광합성과정과 동위체교환반응 중 어느 메카니즘의 기여도가 클 것인가에 대한 평가는 연구자들[13, 14]에 따라 매우 다르나, 식물체내에서의 TBT/TFWT의 농도비는 식물의 종류, 삼중수소에 대한 식물체의 피폭시간, 기온, 상대습도 및 대기확산속도에 의존하며, 또한 동위체(분별)효과 때문에, 이론적으로 일반환경에서는 결코 TBT/TFWT 방사능비가 1을 넘지 않으며 그 평균값이 0.7~0.8 정도라는 연구 결과가 있다[13]. 그러나, TBT를 환경중에서의 거동측면에서 고려하여 볼 때 삼중수소가 무기형 HTO나 HT형태로 방출되었다 하더라도, 미생물의 활동이나 식물의 광합성과정에서 일부는 유기물형태로 변환되어 먹이 사슬 과정을 거쳐 동물이나 인체의 TBT로 변환되며 결국 생물체가 죽으므로써 생물체내의 TBT는 토양중의 TBT로 변환된다. 토양중에 TBT는 체류하는 기간이 수년 이상으로 상당히 길며, 따라서 일반환경 또는 원자력시설 주변에서 물과 유기물 사이에서 삼중수소가 비평형상태에 있는 토양중에서는 TBT/TFWT 방사능비가 10을 넘는 경우도 관측되고 있다[15, 16]. 본 연구의 결과에서도 역시 식물체내에서의 TBT/TFWT의 농도비가 1보다 약간 높은 경향을 나타내고 있다. 이와같이 TBT/TFWT의 농도비가 1보다 높은 이유에 대해서는 많은 연구자들이 여러가지로 추측하고 있는데[17], 첫째는 어떤 삼중수소의 방출원으로부터 일시적으로 방출된 고농도 삼중수소가 식물잎의 수분과 물분자 교환작용이나 또는 토양으로부터 식물의 뿌리를 통해 흡수된 후, 기상조건이나 여러 환경요인에 의해 초기에는 TBT/TFWT 농도비가 1보다 작거나 1에 가까운 비율로 존재하다가, 극저준위 삼중수소를 포함한 주변 대기중의 수분과의 계속적인 물분자 교환작용에 의해 TFWT가 점차 희석되어 TBT/TFWT 농도비가 1보다 높게 되었을 것으로 추측된다. 둘째는 TBT가 TFWT에 비해 식물체내에서의 체류시간이 길기 때문인 것으로 추측된다. 그러나 TBT/TFWT의 농도비가 높은 이유에 대한 보다 명백한 결론을 얻기 위해서는 보다 많은 시료에 대한 자료가 필요하며, 기상학적 요인이나 생태학적인 분야에서의 구체적인 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서 생물시료로부터 TBT를 회수하기 위해 제작한 산화연소 장치는 97%의 높은 회수율과 좋은 재현성을 나타내었다.

쌀시료의 경우 TFWT의 농도는 0.96~3.96 Bq/l, TBT의 경우는 1.04~4.05 Bq/l 범위이며, 배추시료의 경우 TFWT의 농도는 0.83~3.40 Bq/l 범위, TBT의 농도는 1.24~3.91 Bq/l 범위를 나타내었다. 또한, 솔잎시료의 경우 TFWT의 농도는 1.02~3.01 B1/1 범위, TBT의 농도는 1.69~3.65 Bq/l 범위로서 인근 일본의 경우와 비슷한 분포를 나타내

었다.

TBT/TFWT 평균 농도비는 쌀: 0.9, 배추: 1.71, 솔잎: 1.39로서 TBT가 TFWT보다 약간 높게 나타났는데, 그 이유는 식물체의 조직 세포내에서의 체류기간이 TBT가 TFWT보다 길거나, 식물 잎 표면의 물분자와 대기중의 물분자 사이의 급속한 상호 교환반응에 의해 TFWT의 농도가 낮아지기 때문으로 추정된다. 이와같이 본 연구에서 얻어진 결과는 환경보전 측면에서 국내 생물시료중 삼중수소의 자연환경준위를 파악하므로써, 원자력 시설의 정상 가동에 따른 환경감시 및 국내외 원자력발전소사고와 같은 비상시 환경영향평가를 위한 중요한 기초 자료가 되며, 또한 삼중수소에 의한 내부 피폭선량 평가를 위한 기초 자료로서 중요한 의미를 가지리라 판단된다. 한편, 생물체내에서의 삼중수소 거동 및 인체에 미치는 영향을 명확히 파악하기 위하여 이 분야에서 보다 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. W. F. Libby, "Atmospheric Helium-3 and Radiocarbon from Cosmic Radiation", Phys. Rev., 69, 671(1946).
2. H. Craig and D. Lal, "The Production Rate of Natural Tritium", Tellus XXIII (1985).
3. R. L. Michel, "Tritium Inventories of the World Oceans and their Implication", Nature, 263, 103~106(1976).
4. L. E. Feinenndegen, Radiation Research, (Proc. 6th Int. Congr. Radiat. Res., Tokyo) (1976)
5. Y. Belot, "Tritium in plants : A Review", Radiat. Part. Dos., Vol. 16, 101~105 (1986).
6. R. Kirchmann, S. Bonotto and S. D. Soman et al., "Behavior of Tritium in the Environment", IAEA-SM-232/96, 187~204, IAEA, Vienna (1979).
7. Y. Belot, C. Caput and D. Gauthier, "Distribution of the Organically Bound Tritium in Vegetation Exposed to Fallout", Radiat. Dos., 16, 111~113, (1986).
8. D. C. Bogen, G. Welford, "Fallout Tritium Distribution in the Environment", Health Phys., 30, 203~208 (1976).
9. N. Momoshima et al, "Recent Environment Tritium Levels in Japan", Radiochem. Radioanal. Lett., 58, 1~8, (1983).
10. S. Hisamatsu and Y. Takizawa, "Further Study on Fallout ^{3}H Injestion in Akita, Japan", Health Phys., Vol. 57, 567~570 (1989).
11. S. Hisamatsu, Y. Takizawa and Abe, "Fallout ^{3}H Injestion in Akita, Japan", Health Phys., Vol. 58, 287~293 (1987).
12. Y. Takashima, N. Momoshima, M. Inoue and Y. Nakamura, "Tritium in Pine Needles and its Significant Sources in the Environment", Appl. Radiat. Isot., Vol. 38, 255~261 (1987).
13. R. Kirchmann, "Proc. European Seminar on the Risks from Tritium Exposure", (ed. Gerber, G., Myttenaere, C.), EUR 9065 EN, 191 (1984).
14. C. E. Murphy, DP-MS-88-183 (1988).
15. D. C. Bogen, G. A. Welford and G. White, "Behavior of Tritium in the Environment", IAEA STI/PUB/498, 567 (1979).
16. S. Strack, "Proc. European Seminar on the Risks from Tritium Exposure", (ed. Gerber, G., Mytlenaere, C.), EUR 9065 EN, 191 (1984).
17. C. E. Murphy and J. C. Corey, "Absorption of Tritiated Water Vapor from the Atmosphere by the Needles of Pine Trees", In Radioecology and Energy Resources, 108, Halsted press, New York.

Tritium Distribution in Some Environmental Samples-Rices, Chinese Cabbages and Pine Needles in Korea

Chang-Kyu Kim, Yong-Woo Cho, Man-Jung Han, Chan-Kirl Pak

Korea Institute of Nuclear Safety

ABSTRACT

To evaluate tritium level in some environmental samples, tissue-free water tritium (TFWT) and tissue-bound tritium (TBT) were analyzed in rices, chinese cabbages and pine needles collected at 12 locations in Korea. The TFWT was recovered by freeze-drying of the samples and the TBT was obtained in the form of water by combustion of the dried samples. Tritium was measured by liquid scintillation counter.

The concentrations of TFWT were in the range of 0.96~3.96 Bq/l, 0.83~3.40 Bq/l and 1.02~3.01 Bq/l in rices, chinese cabbages and pine needles, respectively. The mean specific activity ratios (TBT/TFWT) were 0.94, 1.71 and 1.39 in rices, chinese cabbages and pine needles, respectiviely.

This excess TBT in the samples may be attributed to the fact that the residence time of TBT in the plant is longer than that of TFWT. The specific activity ratio depends on the plant species, the exposed time to tritiated atmosphere, atmospheric moisture, temperature and diffusion factor.