

원전주변 지역 식물의 방사능 오탁에 관한 연구

- 해송과 아왜나무를 대상으로 -

강태호¹⁾ · 조홍하²⁾ · 정진욱³⁾ · 국성도³⁾

¹⁾ 동국대학교 경주캠퍼스 조경학과 · ²⁾ 中國聊城大學 農學院 · ³⁾ 월성원전환경감시센터

Study on Radioactive Contamination of Plant Nearby Nuclear Power Plant

- Focused on *Pinus thunbergii* Parl. and *Viburnum awabuki* K. KOCH -

Kang, Tai-Ho¹⁾ · Zhao, Hong-Xia²⁾ · Jeong, Jin-Wook³⁾ and Kook, Seong-Do³⁾

¹⁾ Dept. of Landscape Architecture, Gyeongju Campus, Dongguk University,

²⁾ Agricultural College, Liaocheng University,

³⁾ Wolsong Nuclear Facility Environment & Safety Monitoring Committee.

ABSTRACT

Generally, the radioactivity from NPP(Nuclear Power Plants) operation can be released below 3% of DRLs(Derived Release Limits) to environment. It was tried to understand which plant was efficient for absorbing radioactivity in this study. *Pinus thunbergii* Parl. and *Viburnum awabuki* K. KOCH were analyzed for radioisotope absorption. The samples were collected at three different locations depending on the distance from NPP at the vicinity 10km away, and 30km away. Gamma radionuclide was not detected from the samples, which means that the direct transition into the plant was not significant. Meanwhile, the very low level of radioactive tritium was detected in the samples. One remark was that every plant has different ability for tritium absorption. These results are expected to be applied to propagation and transplanting in radioactively contaminated area or reducing radioactivity in the soil and water near the plants.

First author : Kang, Tai Ho, Dept. of Landscape Architecture, Gyeongju Campus, Dongguk University,

Tel : +82-54-770-2232, E-mail : kth@dongguk.ac.kr

Corresponding author : Jeong, Jin Wook, Wolsong Nuclear Facility Environment & Safety Monitoring Committee,

Tel : +82-010-2517-0814, E-mail : forever0224@wsnesc.or.kr

Received : 7 March, 2013. **Revised** : 10 June, 2013. **Accepted** : 11 June, 2013.

Key Words : Nuclear power plant, Radioactivity Contamination, Gamma Radiation Analysis, HTO

I. 서 론

원자력발전은 화석연료에 비해 값싸고 이산화탄소 배출이 적은 것으로 알려지면서 많은 나라에서 주요 에너지원으로 채택되고 있다. 국내의 경우 지난 2012년 7월에 신월성원전 1호기가 상업운전에 들어감으로써 총 23기의 원전이 가동되고 있으며 국내 발전점유율 대비 31.2%를 원전이 담당하고 있다. 현재 에너지 부존자원이 매우 부족한 국내 현실을 고려할 때 당분간 원자력에 의한 전력생산은 피할 수 없을 것으로 보인다. 그러나 최근 원전 가동으로 생성되는 방사성폐기물 및 방사성 물질에 대한 누출 우려로 원전의 안전성에 대한 국민 불안감이 증대되고 있다. 2011년 3월에 대형 쓰나미에 의해 발생한 후쿠시마 원전사고는 막대한 양의 방사성 물질을 환경 중에 유출함으로써 방사능으로 인한 환경오염과 건강 및 식품안전에 대한 국민 불안감을 확대시켰다.

일본원전 사고 이후 국내원전은 비교적 안정적으로 운영되고 있지만, 운영 중 불가피하게 일반인의 선량한도(1mSv)를 초과하지 않는 범위 내에서 방사성핵종별로 순간·월간 배출제한치를 정해 유도배출제한치(DRLs : Derived Release Limits)의 3% 이내로 해양 및 대기로 방사성물질을 배출하고 있다. 원전 시설로부터 이렇게 누출된 방사성물질은 여러 경로를 통해 인체에 도달한다. 환경 중에 누출된 방사성 물질은 인체 외부에서 방사선 조사로 외부피폭을 일으키며 사람이 공기 중의 미립자를 흡입하거나 작물의 섭취경로를 통하여 입으로 섭취된 방사능이 체내에 체류하면서 내부피폭을 일으키게 된다. 현재까지 원전 가동으로 인한 일반인의 피폭선량은 미미한 수준으로 평가되고 있으며 인공 방사선에 의해 일반인이 받는 선량은 약 0.3mSv인데

대부분은 엑스선 촬영 등 의료행위에 의한 것으로 알려져 있다.

중수로원전에서 각 방사성핵종별로 정하는 월간 또는 연간 배출할 수 있는 방사성유출물의 배출총량을 유도배출한계(Derived Release Limits : DRLs)라고 정의한다(교육과학기술부, 2005.). 그런데 원전에서 배출되는 방사성핵종은 혼합핵종이므로, 다수 혼합 방사성핵종의 동시 배출에 따른 일반인 선량한도를 초과하지 않도록, 각 방사성핵종별로 유도배출한계의 1-5% 범위에서 별도로 운전 목표치(Operating targets)나 월간 또는 연간 목표배출량을 설정하여 운영하고 있다(한국수력원자력(주), 2004a; 한국수력원자력(주), 2004b). 이러한 중수로원전의 유도배출한계 설정과 운영은 연속배출 등을 고려한 중수로원전 고유의 특성으로, 보다 엄격한 방사성유출물의 관리를 위한 조치로 여겨진다.

환경 생태계로 누출된 인공방사성핵종은 핵종별 고유 반감기에 의해 감쇄되어 방사능 농도가 감소되기도 하나, 핵종 자체의 거동 특성과 환경요인에 따라 환경 중에서 각기 다른 분포양상을 보일 수 있다. 지금까지 생태계 중에 방사성핵종에 대한 식물의 흡수, 억제 및 전이효과에 대한 연구는 활발한 편이고 많은 연구 결과들이 발표되었다(Choi *et. al.*, 2005). 이와 함께 식물소재의 흡수·정화 능력을 이용한 식생복원기술을 통하여 원전사고 지역 및 원전 주변 지역의 방사성 오염을 저감하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

우크라이나에서는 체르노빌 원전 사고로 인한 방사성오염 지역을 대상으로 식물을 이용한 실험을 수행하여 털비름(*Amaranthus retroflexus* L.) 이 토양중의 ¹³⁷Cs를 20.7% 흡수 능력이 있음을 입증하였다. 인도겨자는 회복능력이 강하고, 현장실험에서 연속으로 3계절 동안 심었을 때 토

양종의 ^{137}Cs 의 평균 방사능이 2,558Bq/kg에서 2,239 Bq/kg으로 감소하였으며, 3개월 동안 회복으로 3,000Bq/kg되는 오염토양의 면적을 29.4%로부터 7.7%로 저감되었음을 확인하였다. 체르노빌핵발전소의 사고부근의 야생식물을 조사한 결과, 순형과, 국화과, 선주름이끼와, 장미과의 식물이 ^{137}Cs 를 축적할 수 있는 양이 큰 것으로 나타났다(>1,000Bq/kg)(Dushenkov *et al.*, 1999). 미국의 Brookhaven 국립연구소의 실험 결과 털비름이 ^{137}Cs 과 ^{90}Sr 의 축적량이 각각 2.58, 5.60이며, 3개월 내에 토양중의 2.1%되는 ^{137}Cs 와 4.5%되는 ^{90}Sr 을 제거하는 것으로 나타났다(Fuhrmann *et al.*, 2002). 초본식물 바히아그래스(*Paspalum notatum*), 존슨그라스수수(*Sorghum halpense*)와 유기직(*Panicum virginatum*) 등에 대한 ^{137}Cs 와 ^{90}Sr 에 대한 축적총량의 17.2%~67.3%, 25.1%~61.7%가 제거되는 것으로 나타났다(Entry *et al.*, 2001). 진주암과 토탄이끼혼합 토양에 유칼립투스 묘목을 식재하여 3개월 경과한 후에 토양속의 ^{137}Cs 31.0%, ^{90}Sr 11.3% 축적된 것으로 나타났고, 유칼립투스가 방사성 오염 물질 흡착능력이 있는 것으로 나타났다.(Entry and Emmingham, 1995). 영국에서는 32종의 식물을 대상으로 방사성 핵종 흡수 능력을 평가한 연구에 따르면, 토마토, 사탕무, 해바라기, 오이, 유채 등이 Co, Rb, Sr, Cs 등의 방사성 핵종을 많이 흡수 할 수 있는 식물로 판정되었다(Gouthu S. *et al.*, 1997). 실험한 6가지 식물 중 유채가 아주 높은 핵종 흡수 능력이 있는 것으로 나타났다.(Chou F. I. *et al.*, 2005).

식생복원 기술은 식물과 공생 미생물체를 이용하여 오염된 환경에서 오염물을 제거하는 친환경적 치유 기술 방식이다. 식생복원의 개념은 자연적이거나 인위적인 간섭에 의해 훼손된 중요한 서식처나 생물종을 훼손 이전의 상태 또는 유사한 생태계의 종 다양성과 역동성으로 되돌리는 노력을 의미한다. 국외에서는 원전사고 후 식물을 이용한 방사능 핵종 저감 연구가 적극적

으로 진행되고 있지만, 국내에서는 이분야에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 원자력시설 주변지역의 방사능 오염 저감을 위한 식생복원 기술개발을 위해 월성원전환경감시센터(이하 감시센터)와 함께 식물 소재에 따른 방사능 분석을 시행하였다. 이를 통해 식물 소재에 따른 방사능 흡수 정도를 파악하고 토양에 침적된 방사능이 식물체 지하부에서 흡착 후 지상부로 이행하는 정도 등 방사능 거동을 규명하여 방사능 저감능력의 기초 자료를 제공하고자 한다. 이러한 기본적인 연구결과는 방사능 오염이 있는 지역에 식물 이식의 생활화를 확보하기 위한 번식기술이나 재배기술뿐만 아니라 원자력발전소 주변 지역의 토양 및 물속의 방사능 저감에도 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

II. 연구내용 및 방법

1. 식물소재 선정

본 연구에서 방사능 분석을 위한 식물소재는 침엽수인 소나무와 활엽수인 아왜나무를 선정하였다. 채취지점은 Figure 1과 같이 월성원전발전소 근접지역과 원전으로부터 10km에 있는 양북 및 30km 이상 떨어진 건천지역으로 구분하고 각 3개소에 Test-bed를 설치하여 지역에서 자생 중인 식물을 채취하였다. 원전으로부터 배출된 방사성물질은 확산에 따른 결과 거리별

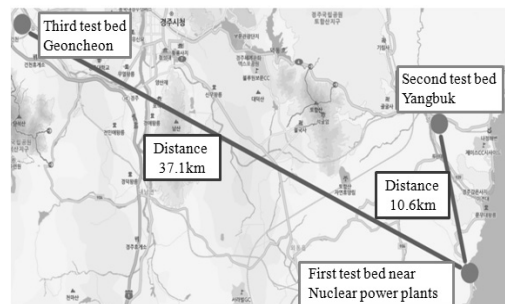


Figure 1. Locations of test bed.

로 지수 함수적으로 그 농도가 떨어지는 특성이 있으므로 거리별로 채취하였으며 대기확산 인자는 고려하지 않았다. 채취된 시료는 화학 또는 물리적 전처리 과정을 통해 식물체별로 감마 방사능과 삼중수소 방사능 분석을 시행 하였다.

2. 감마방사능 분석

감마(γ)선은 핵종에 따라 고유한 에너지를 가지고 있다. 분광분석(spectroscopy)은 원자나 핵의 스펙트럼이 각 원소 또는 핵의 고유한 특성을 이용하여 여러 가지 물질의 고유스펙트럼(고유 에너지)을 측정 한 후 그 속에 함유되어 있는 원소의 정성 및 정량분석을 하는 것을 말하며 감마 방사능 분석은 분광분석법을 이용해 HPGe (High Purity Germanium) Detector로 계측을 한다. 대표적인 감마핵종으로는 I^{131} , Cs^{134} , Cs^{137} , Co^{60} 등이 있으며 감마방사능 분석을 위해 채취된 식물의 상세 전처리과정은 다음과 같다.

먼저 Figure 2와 같이 채취된 소나무와 아왜나무의 줄기를 제거하고 잎 부위(5kg)만을 수세 후 중량을 측정하였다. 중량이 측정된 시료는 105°C 건조기에서 손으로 쉽게 부수어질 때가

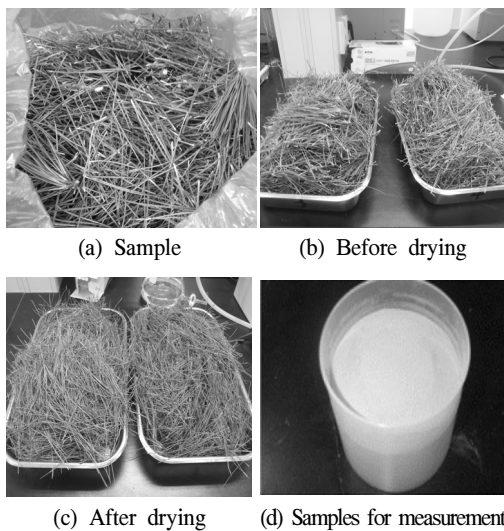


Figure 2. Pretreatment processes for γ radioactivity measurement.

지 건조 후 분쇄기를 이용해 계측용 시료용기(마르넬리 비이커)에 충전하여 최종 1kg의 시료를 제조 하였다. 제조된 시료는 HPGe 검출기에서 80,000~200,000초 동안 계측을 실시하였으며 통계적 유의성을 확인한 후 최종 결과값을 도출하였다(감마분석용 시료채취 및 전처리절차서, 2010).

3. 삼중수소 방사능 분석

삼중수소($HT : ^3H$)는 월성원전의 원자로에서 냉각재와 감속재로 사용되는 중수(D_2O)가 중성자를 포획하여 생성되며 약한 저에너지의 베타 선을 방출하는 방사성물질로써 화학적 성질이 보통의 수소와 거의 동일하여 공기 중의 수소처럼 거동하는 특징이 있다. 이런 이유로 삼중수소가 환경에 존재하는 경우 호흡 또는 식수를 통해 인체로 흡수될 가능성이 높으며 일단 인체에 흡수되면 체내 피폭의 주된 요인으로 작용한다. 원전에서 대기중으로 방출된 HT는 공기중에서 산화하거나 물과 치환 또는 광화학적으로 산화하여 삼중수소 물(HTO)형태로 변한다. 대기중의 HTO는 식물체의 기공을 통하여 식물체 내에서 조직자유수(TWFT : Tissue Free Water Tritium)로 존재하여 생체를 구성하고 있는 일반물과 같은 형태로 거동하며 일부는 조직을 구성하고 있는 탄소와 직접 결합하여 조직결합수(OBT : Organically Bound Tritium)로 존재하게 된다. 식물시료(소나무, 아왜나무)의 조직자유수는 동결건조를 하면 쉽게 분리할 수 있으며 분리된 조직자유수는 약품처리 및 증류를 통해 최종 계측시료로 조제하였다. 상세 전처리 절차는 다음과 같다.

Figure 3과 같이 채취된 식물시료 약 800g을 동결건조 셀에 넣고 -50°C에서 동결건조 후 조직자유수를 추출하였다. 추출된 조직자유수는 100mL를 취해 $KMnO_4$ 와 Na_2O_2 0.1g을 이용해 조직자유수 내 유기물과 염소성분을 제거하였으며 증류장치를 이용해 계측에 필요한 증류수

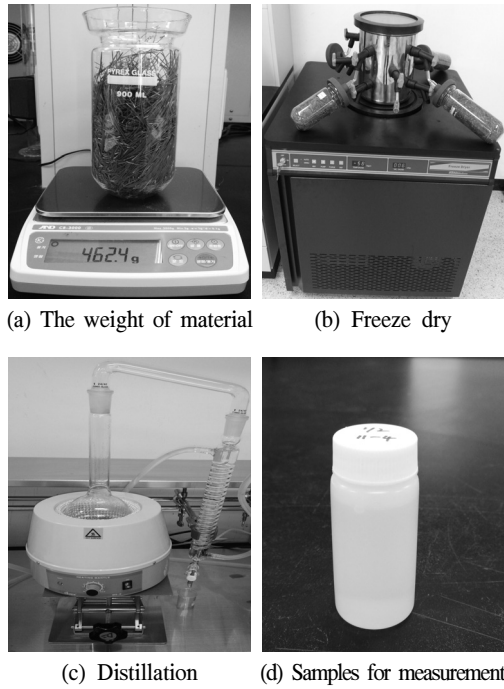


Figure 3. Pretreatment processes for tritium radioactivity measurement.

8mL를 추출하였다. 조직자유수 8mL를 설파광체 12mL와 혼합하여 최종 계측용기(20mL 바이얼) 담아 액체설파광계수기를 이용하여 계측하였다. 액체설파광계수기(LSC : Liquid Scintillation Counter)는 시료 내에서 베타입자와 설파광체간의 상호작용으로 발생한 설파광을 측정하여 시료중의 방사능 농도를 계측하는 장치이다(삼중수소 전처리 절차서, 2008).

III. 결과 및 고찰

1. 감마방사능 분석결과

토양과 공기 중에 존재하는 방사능의 식물체 흡착 정도를 알아보기 위해 솔잎과 아왜나무 잎에 대한 감마 방사능을 분석한 결과, Table 1에서 보는 바와 같이 3개소 지점 모두에서 감마선을 방출하는 핵종이 검출되지 않았다.

대부분 입자형태로 존재하는 감마핵종은 원전사고 및 원전 가동으로 환경으로 유출된 후 지상에 침적하고 토양 내에서 이동, 토양에서 식물로 이행 및 토양에서 대수층으로 이동하는 경로를 거친다. 방사성세슘 및 플루토늄과 같이 토양입자에 강하게 결합하는 핵종은 이동속도가 느리며 일반적으로 유기물의 양이 많은 토양에서 방사능 축적이 높고 이들 농도 사이에는 양의 상관관계가 있다. 토양에 존재하는 핵종은 식물체로 흡수되는데 이를 전이라 하며 방사성 테크니슘은 토양 내 수용성이 커서 이동이 좋고 식물체에 흡수가 빨라 전이가 큰 편이다. 이에 비해 석회와 칼륨비료는 방사성세슘과 토양 중에서 경쟁이온 관계가 있어 흡수율을 떨어뜨린다(환경방사능 측정 및 분석, 2008). 3개소 지점 모두에서 감마방사능이 검출되지 않은 것은 이러한 감마핵종의 특성에 기인하며 식물체 내로 직접 전이가 이루어지지 않은 결과로 판단된다. 또한, 최근 과거 5년간 토양 중 방사성세슘을 분석한 결과 Figure 4에서와 같이 그 농도가 매

Table 1. Radiation energy contents of *Viburnum awabuki* and *Pinus thunbergii* by the distances from NPP.

Species	Place(distance)	Analysis Date	Items	Result(Bq/kg-fresh)		
				I-131	Cs-134	Cs-137
<i>Viburnum awabuki</i> K. K _{OCH}	Geoncheon(>30km)	12.07.30	Gamma radiation	no detection	no detection	no detection
	Yangbuk(10km)	12.07.26		no detection	no detection	no detection
	near Nuclear power plants	12.08.06		no detection	no detection	no detection
<i>Pinus thunbergii</i> Parl.	Geoncheon(>30km)	12.11.20	Gamma radiation	no detection	no detection	no detection
	Yangbuk(10km)	12.11.23		no detection	no detection	no detection
	near Nuclear power plants	12.11.23		no detection	no detection	no detection

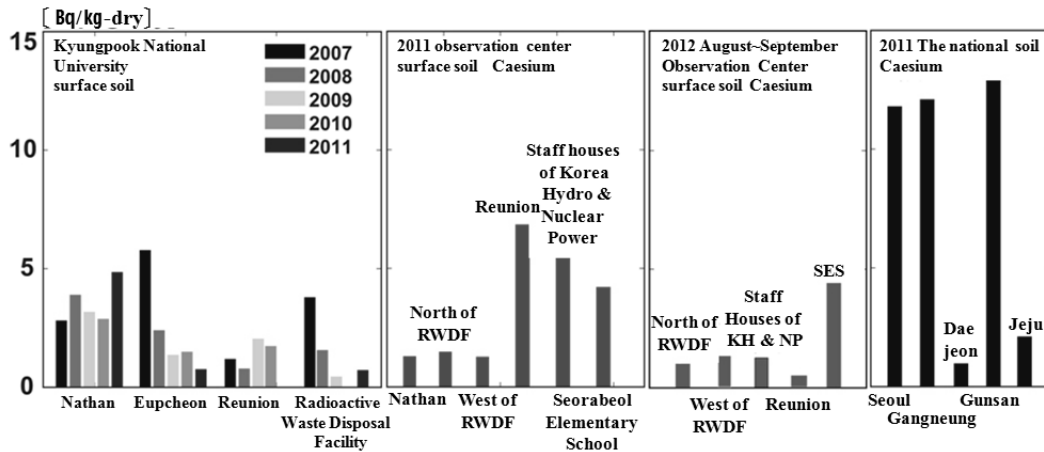


Figure 4. Gamma radioactivity measurements of the surface soils at Kyungbuk area for recent 5 years(2007-2011).

우 미량이며 이들 농도 또한 과거 대기권내 핵 실험에 의한 영향인 것으로 알려져 있다.

2. 삼중수소 방사능 분석결과

삼중수소 방사능의 식물체 흡착 정도 즉 전이 정도를 파악하기 위해 월성원전으로부터 거리별로 솔잎 및 아왜나무 잎을 채취하여 방사능을 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. 분석결과 원전에서 가까운 원전출입 정문에서 채취한 아왜나무와 솔잎 모두에서 삼중수소 방사능이 각각 39.8Bq/L 및 8.51Bq/L로 가장 높게 검출되었으며 원전으로부터 30km 이상 떨어진 건천에서는 삼중수소가 검출되지 않았다.

이러한 결과는 감시센터에서 과거 2005년에서 2008년까지 빗물에 대한 삼중수소를 분석·비교한 Figure 5a와 그 경향이 일치한다. 또한, 주 풍향 방향이며 원전에서 가까운 상봉지역과 원전에서 10km에 위치한 양북와읍 지역의 빗물 분석결과를 나타낸 Figure 5c와도 일치함을 알 수 있다.

앞의 연구방법에서 설명한 바와 같이 발전소에서 대기 중으로 방출된 삼중수소는 공기 중에서 산화하거나 물과 치환하여 삼중수소 물(HTO)형태로 변화하며 대기중의 HTO는 식물체의 기공을 통하여 빠르게 생체내로 흡수되어 조직자유수로 존재한다. 이러한 원인으로 방출원에서 가까울수록 삼중수소의 농도가 높게 검

Table 2. Tritiums(Tissue free water tritium : TFWT) radiation of *Viburnum awabuki* and *Pinus thunbergii* by the distances from NPP.

Species	Place(distance)	Analysis Date	Items	Result(Bq/L)	Mean	Std.Error
<i>Viburnum awabuki</i> K. KOCH	Geoncheon(>30km)	12.07.26		no detection	0	0
	Yangbuk(10km)	12.08.10	TFWT	2.22±0.40	2.22*	0.132
	near Nuclear power plants	12.09.27		39.8±0.77	3.98	0.347
<i>Pinus thunbergii</i> Parl.	Geoncheon(>30km)			no detection	0	0
	Yangbuk(10km)	12.12.18	TFWT	1.31±0.38	1.31	0.121
	near Nuclear power plants			8.51±0.49	8.51	0.162

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

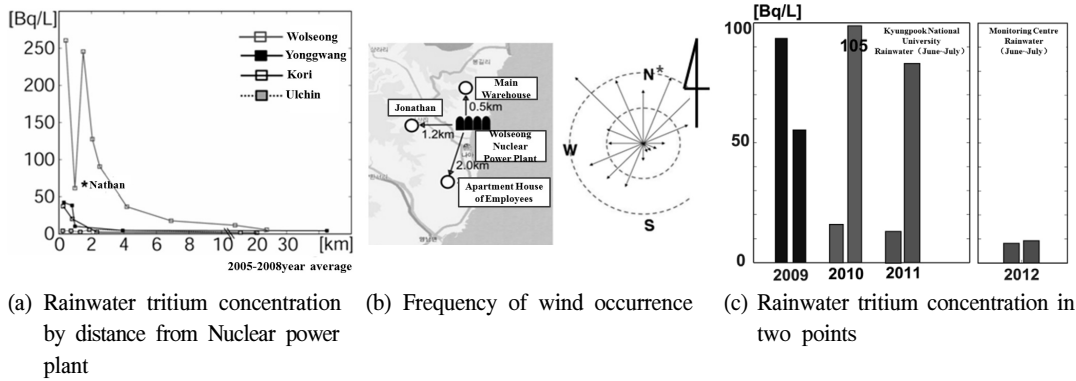


Figure 5. Tritium concentrations of rain water by distance from Nuclear power plant.

출되며 방사능 분석결과 잎이 넓은 아왜나무가 소나무보다는 삼중수소의 흡수 능력이 큰 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 식물의 종류와 원전으로부터 거리에 따라 방사능의 양이 어떻게 변화하는지를 확인하였다. 식물의 종류는 아왜나무와 소나무 등 2종의 잎을 대상으로 하였고, 원전으로부터 거리는 원전인근, 10km 위치 그리고 약 30km로 하였다. 방사선의 종류는 감마 방사능과 베타(삼중수소)에 대하여 분석을 수행하였다.

그 결과 아왜나무와 소나무 잎에서는 모든 위치에서 I-131, Cs-134, Cs-137 등의 감마 방사능이 검출되지 않았다. 그러나 주요 베타선원인 삼중수소는 원전인근과 10km 위치에서 아왜나무와 해송 잎에서 미량 검출되었고 그 외의 위치에서는 검출되지 않았다. 원전 인근의 아왜나무와 해송에서의 삼중수소 농도는 39.8Bq/L와 8.51Bq/L로 각각 검출되었으며, 원전에서 10km에 위치한 양북의 아왜나무와 해송에서는 2.22Bq/L와 1.31Bq/L이 각각 검출되었다. 상기 결과로부터, 월성원자력 발전소 주변 식물에 의해 삼중수소 농도를 저감하려면 삼중수소 흡수

가 상대적으로 큰 아왜나무가 해송보다는 유리하다고 판단된다. 향후 식생복원 기술을 통한 지속적인 삼중수소 저감화를 위해서는 삼중수소 흡수 능력이 상대적으로 큰 식물들에 대한 광범위한 지역으로의 확대 및 연구가 필요하며 그 결과 효과적이며 환경적인 삼중수소 감소가 가능할 것으로 기대된다. 다만 대중에 대한 신뢰성 확보 측면에서 원전 주변지역에 더 많은 식물에 대한 연구가 필요하다.

한편, 지금까지의 환경방사능 분석결과로 볼 때, 월성원전 주변지역의 빗물에서 삼중수소 농도가 타 원전 지역에 비하여 상대적으로 높음을 확인할 수 있었다. 그 결과 월성원전 주변의 삼중수소에 대한 지속적인 모니터링이 요구되며 나아가 삼중수소 방사능 저감화 노력이 필요하다고 판단된다. 본 연구는 국내에서 적용 가능한 상록교목을 찾아내기 위해 제한적으로 수행되었으므로 2종의 실험 식물종으로 한정하였다. 향후, 후속연구를 통해 보다 광범위한 식물종에 대한 검증이 필요하다.

인 용 문 헌

Choi, Y. H. · Lim, K. M. · Choi, H. J. · Choi, G. S. Lee, H. S. and Lee, C. W. 2005. Plant

- uptake and downward migration of ^{85}Sr and ^{137}Cs after their deposition on to flooded rice fields, *Journal of Environmental Radioactivity*, 78 : 35-49.
- Chou, F. I. · Chung, H. P. and Teng, S. P. 2005. Screening plant species native to Taiwan for remediation of ^{137}Cs -contaminated soil and the effects of K addition and soil amendment on the transfer of ^{137}Cs from soil to plants. *Journal of Environmental Radioactivity*, 80 : 175-181.
- Dushenkov, S. · Mikheev, A. and Prokhnevsky, M. 1999. Phytoremediation of radiocesium-contaminated soil in the vicinity of Chernobyl, Ukraine. *Environmental Science & Technology*, 33(3) : 469-475.
- Entry, J. A. · Watrud, L. S. and Reeves, M. 2001. Influence of organic amendments on the accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr from contaminated soil by three grass species. *Wat. Air & Soil Pollut*, 126 : 385-398.
- Entry, J. A. and Emmingham, W. H. 1995. Sequestration of ^{137}Cs and ^{90}Sr from soil by seedlings of *Eucalyptus tereticornis*. *Can. J. Forest Res*, 25 : 1044-1047.
- Fuhrmann, M. · Lasat, M. M. and D. Stephen. 2002. Uptake of Cesium-137 and Strontium-90 from contaminated soil by three plant species application to phytoremediation. *Plant and Environment Interactions*, 31 : 904-909.
- Gouthu, S. · Arie, T. and Ambe, S. 1997. Screening of plant species for comparative uptake abilities of radioactive Co, Rb, Sr and Cs from soil. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 222(1-2) : 247-251.
- Korea Hydro & Nuclear Power Co. 2004. Final Safety Analysis Report for Wolsong No. 1.
- Korea Hydro & Nuclear Power Co. 2004. Wolsong Unit 1 operating technical specifications.
- Ministry of Education, Science and Technology. 2005. Evaluation and management of radioactive effluent nuclear technology. Korea Electric Power Research Institute.
- Sampling and pre-treatment procedures for gamma analysis. 2010 Monitoring center.
- Tritium pretreatment procedures. 2008. Monitoring center.