

영광원전 부지 내·외부의 환경방사능 분석에 대한 평가 및 고찰(2000~2009년)

한상준* · 이승진* · 이경진* · 이나영* · 김희강* · 문지연*

*조선대학교, *영광원전환경·안전감시센터

2011년 2월 28일 접수 / 2011년 5월 12일 1차 수정 / 2011년 6월 16일 2차 수정 / 2011년 6월 17일 채택

영광원전민간환경감시기구에서 2000년~2009년까지 조사한 24종의 육상시료와 10종의 해상시료를 대상으로 총 3,000여건 이상의 시료를 분석한 결과 대부분 시료에서 영광원전 운영에 의한 영향이라 판단할 수 있는 인공핵종은 검출되지 않았다. 그러나 발전소 내인 전망대와 취·배수구에서 채취한 빗물과 해수시료에서 법적 기준치 이내이긴 하지만 ^3H 가 검출되었다. 전망대 빗물에서 검출된 ^3H 농도는 연평균 기준으로 $30.5\sim 40.0 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 원전주변 및 비교지점에 비해 약 20배 정도로 높게 나타났으나 법적 기준치인 $40,000 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 0.1% 수준으로 나타났다. 영광원전 부지 내부의 취·배수구 해수시료에서 검출된 ^3H 농도는 연평균 기준으로 $2.75\sim 17.8 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 사업자가 제시한 농도에 비해 다소 높게 검출되었고, 배수구 해수에서 검출된 ^3H 농도가 취수구에 비해 12~170% 정도 높게 검출되었다. 이러한 계측 및 분석 결과에 근거하여 전망대 빗물과 배수구 해수의 경우 비록 법적 제한치 미만이라는 사실은 있지만, 발전소로부터 주위 환경으로 방출된 액·기체 형태의 ^3H 가 검출된 것이라 판단하였다. 따라서 향후에도 전망대 빗물과 취·배수구 해수의 경우 주기적·지속적인 분석을 통해 ^3H 분포 경향을 파악해야 할 것으로 사료되어 이들 시료에 대해서는 지속적인 Monitoring이 필요할 것으로 판단된다.

중심어 : 민간환경감시기구, 환경방사능, 전망대 빗물, 취·배수구 해수, ^3H

1. 서론

영광원자력발전소 주변의 환경방사선/능 조사목적은 발전소 가동으로 인해 주변 주민들이 받게 되는 방사선량이 연간 선량한도 이내로 충분히 낮게 유지되는지 여부를 확인하고, 방사성물질 축적 및 확산 경향을 파악하며, 원자력발전소로부터 예기치 못한 방사성물질의 누출로 인하여 주변 환경에 미치는 영향을 예측할 수 있는 자료를 확보함으로써 주민의 건강과 안전을 확보하고, 환경의 오염을 사전에 예방하는데 있다.

본 논문에서는 영광군의 『영광원자력발전소 민간 환경·안전 감시기구 설치 및 운영에 관한 조례/규칙』과 지식경제부의 『민간환경감시기구 운영지침』에 근거하여 2000년부터 2009년까지 영광원자력발전소(이하 영광원전) 부지 내부와 주변, 발전소 운영으로 인한 영향을 무시할 수 있는 비교지점에 대하여 육상시료 24종과 해상시료 10종을 대상으로 약 3,000건을 분석한 후 그 결과를 비교 평가하였다.

2000년부터 2003년까지는 영광원전 부지 외부의 시료만을 분석하였고, 2004년부터는 지식경제부의 『민간 환경 감시기구 운영지침』 변경으로 부지 내부에서도 시료

채취가 가능하게 되어 전망대 빗물과 취·배수구 해수 시료를 추가적으로 분석하였다.

본 논문의 궁극적인 목적은 2000년부터 2009년까지 10년 동안 영광원전 부지 내·외부에서 채취한 환경시료에 대한 분석결과를 평가함으로써 영광원전 운영으로 인한 영향 여부를 파악하고, 영광원전 운영으로 인한 영향이 나타날 경우 주변 환경에 미치는 방사선화적인 영향과 그 원인을 규명하는 것이다. 이를 위해 영광원전 가동 중에 가장 많이 발생할 것으로 예상되는 인공방사성핵종을 대상으로 원전운영으로 인한 영향여부를 평가하였다.

2. 연구 방법

가. 핵종 선정

영광원전 주변 지역에 대한 환경방사능 축적 및 확산 경향을 평가하기 위해서는 먼저 Source term인 평가대상 핵종을 선정해야 한다. 본 논문에서는 영광원전에서 액·기체로 주변 환경으로 방출될 수 있는 핵종들 중 일차냉각재 계통에서 발생하는 핵분열생성물과 부식생성물들 중 생성되는 양이 많을 것으로 예상되는 핵종과 중성자 방사화에 의해 생성되는 핵종 등 원전주변 환경에 미칠 수 있는 핵종을 분석대상으로 선정하였다. 선정된 핵종은

책임저자 : 한상준, safety1028@paran.com
광주광역시 동구 서석동 375번지, 조선대학교

^{54}Mn , ^{58}Co , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs 등의 감마선방출 핵종과 ^3H , ^{90}Sr 등의 베타선방출핵종 및 전베타 방사능이다. 또한, 원전주변 지역과 비교지점에서 채취한 시료들의 채취 시기와 지점, 종류 등에 따라 다르게 나타나는 분포 경향을 파악하기 위해 천연핵종인 ^7Be , ^{40}K 을 선정하였다. 선정된 핵종들은 교육과학기술부고시 제2010-32호 “원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가에 관한 고시”의 [별표2]에 규정된 검출하한치를 만족 할 수 있는 분석방법을 채택하여 분석하였다[1].

나. 시료선정(시료채취 및 전처리)

본 논문에서 2000년~2009년까지 조사한 시료는 물 6종(빗물/저수지수/하천수/지하수/식수/폐수), 토양 2종(표층토양/하천토양), 지표식물 2종(솔잎/썩), 과일류 3종(복숭아/배/포도), 채소류 2종(무/배추), 곡류 3종(쌀/보리/콩), 육류 5종(염소/닭/계란/우유/꿀), 공기 등 총 24

종의 육상 시료와 해수, 해저퇴적물, 게, 어류 2종(장대/숭어), 패류 3종(조개/맛조개/굴), 해조류 2종(파래/감태) 등의 해상 시료 10종을 대상으로 약 3,000여건 이상을 분석하였다[5].

본 논문에서는 계측 및 분석한 시료들 중 영광원전 운영으로 인한 영향을 평가하기 위해 중요한 몇 가지 시료를 선정하여 집중 분석하였다. 선정된 시료는 섭취량이 많은 물(빗물) 및 농·축산물(과일류, 채소류, 곡류) 시료와 방사성물질 축적경향을 파악할 목적으로 지표생물(솔잎, 썩)과 표층토양, 해저퇴적물 등의 시료를 선정하였다. 또한 영광원전 Secondary system에 설치된 기기나 계통을 냉각시키기 위해 사용되는 해수의 경우 일차냉각계통에서 방사성물질이 누출될 경우 해수로 유입될 수 있기 때문에 영광원전 부지 내부의 취·배수구 해수를 선정하였다.

Table 1. Sampling and Measurement Plan.

조사항목		분석빈도	지점수	분석핵종
조사대상	채취장소			
공기	홍농서초교	매월	1	γ
빗물	본부정문, 전망대, 홍농가마미, 영광	매월	4	전 β , ^3H , γ
식수	홍농, 영광, (대마), (백수), (군서), (염산), (군남), (묘량), (불갑), (낙월), (법성)	분기	2(9)	γ , ^3H
표층토양	본부정문, 주사무실, 본부후문, 홍농가마미, 함평, (고창), (청경사택), (배수구)	반기	5(3)	γ , ^{90}Sr
우유	법성, (고창자룡리), (고창주곡리)	매월	1(2)	γ , ^{90}Sr
솔잎	홍농, 구시포, (함평)	1년	2(1)	γ , ^{90}Sr
썩	홍농, 구시포, (함평)	1년	2(1)	γ
농산물(곡류)	홍농, 함평, (고창), (백수)	수확기	2(2)	γ , ^{90}Sr
농산물(배추)	홍농, 함평, (고창)	수확기	2(1)	γ
해양생물(패류)	홍농가마미, 구시포, (법성), (무안)	1년	2(2)	γ , ^{90}Sr
해수	취수구, 배수구, (홍농), (법성), (고창), (무안)	매월	2(4)	전 β , ^3H , γ , ^{90}Sr
해저퇴적물	취수구, 배수구, (홍농), (고창), (무안)	반기	2(3)	γ , ^{90}Sr

- ()는 분석계획에 따라 변경된 지점을 나타냄.

- 위의 환경매체중 물시료(저수지수/하천수/지하수/폐수), 토양(하천토양), 과일류(복숭아/배/포도), 채소류(무), 곡류(보리/콩), 육류(염소/닭/계란/꿀) 등 육상 시료와 게, 어류(장대/숭어), 패류(맛조개/굴), 해조류(파래/감태) 등의 해상 시료에 대해서는 계획변경에 따라 분석을 수행하지 않음.



Fig. 1. Samples Picking Points.

선정한 시료는 [Table 1] 및 Figure 1에 나타난 바와 같이 주간별, 월별, 분기별, 반기별, 년도별로 채취한 후 전처리 및 계측을 수행하였다[7]. 전처리 방법은 감마동위원소의 경우 각 시료별 증발농축, 건조분쇄, 생체분석 등을 사용하였고, 전베타 방사능과 삼중수소는 대부분 물시료로서 증발농축법을 사용하였다. 스트론튬의 경우 방사화학분리과정을 거쳐 여과지에 흡입 여과 후 Planchet에 고정하여 측정하였다.

다. 분석방법

시료채취 및 전처리가 끝난 시료는 계측장비를 이용하여 계측을 수행한 후 분포 경향을 파악하였다. 먼저 감마동위원소 분석은 검출효율이 각각 30%와 40%인 HPGe γ -선 분광시스템을 사용하여 스펙트럼을 분석하였다. γ 선 스펙트럼 분석에 사용된 채널 범위는 0~8,196 채널로 최대 3 MeV까지의 감마선 에너지를 측정할 수 있도록 하였다[6]. 또한, 시료에 존재할 수 있는 미량의 방사능을 검출하고, 각 핵종에 대한 방사능의 최소검출농도를 만족할 수 있도록 측정시간을 100,000초로 하였다. 분석용 프로그램은 Canberra의 Genie-2000을 사용하였으며, 이 때 Peak Tolerance는 0.75 keV, Confidence level은 0.75 σ 로 각각 설정하였다.

두 번째로 전베타 방사능과 ^{90}Sr 방사능은 Canberra의 S5XLB 모델인 저준위 알파·베타계수기를 사용하였으며, 전베타 방사능은 Background 및 시료에 대해 각각 60분씩 10회 계측하였고, ^{90}Sr 의 경우 30분씩 10회 계측하였다.

마지막으로 ^3H 는 Quantulus 1220의 Ultra Low Level Scintillation Counter를 사용하였고 Background 및 시료는 각각 30분씩 21회 계측한 후 첫 번째 데이터는 기계적 및 전기적인 노이즈를 최소화하기 위해 제거한 후 통계처리를 수행하였다[8].

계측 및 통계처리가 끝난 시료들 중 검출된 농도에 대해서는 MDA이하의 시료를 포함한 데이터를 이용하여 환경방사능의 분포 경향을 파악하였고, 발전소 영향이라고 판단할 수 있는 인공방사능핵종이 검출될 경우 그 원인을 분석하였다.

라. 품질관리

본 기관에서는 지난 10년간 계측 및 분석한 결과에 대한 신뢰도 향상과 지속적인 품질관리 차원에서 한국원자력안전기술원에서 주관하는 환경방사능 교차분석 프로그램에 참여하였다.

교차분석 참여결과 2001년과 2003년에만 W 및 FP 등급을 받았고, 2003년 이후부터는 최상위 등급인 A 등급을 받았다. 2000년부터 2008년까지 A 등급은 98%, W 등급은 1.3%, FP 등급은 0.7%로 나타났고, 이러한 교차분석 결과에 근거하여 지난 10년간 계측 및 분석한 결과에 대한 신뢰성에는 큰 문제는 없을 것으로 본 논문에서는 판단하였다.

3. 결과 및 논의

가. 감마동위원소 분석결과

물시료(빗물), 농·축산물 중 과일류(복숭아, 배, 포도), 채소류(무, 배추), 곡류(쌀, 보리, 콩) 그리고 지표생물(술잎, 썩), 표층토양, 해저퇴적물, 해수시료 등을 분석하였다. 분석결과 표층토양, 해저퇴적물 및 해수시료에서 인공핵종인 ^{137}Cs 이 검출된 반면 나머지 모든 시료에서는 인공핵종이 검출되지 않았다.

먼저, ^{137}Cs 이 검출된 시료들 중 영광원전 주변 지역인 홍농 가마미, 고창군, 비교지점인 함평군, 발전소 내인 청경사택과 본부 후문, 배수로에서 각각 채취한 토양 시료에 대한 감마동위원소 분석 결과를 아래의 [Table 2]에 나타내었다.

Table 2. ^{137}Cs Analysis Result on Soil Samples.

[단위 : Bq/kgdry]

	청경사택	본부후문	배수로	홍농 (가마미)	고창군	함평군
2000	-	-	-	0.365	-	1.16
2001	-	-	-	<0.294	-	1.11
2002	-	-	-	0.258	0.368	-
2003	-	-	-	0.395	1.60	-
2004	-	-	-	0.396	1.60	-
2005	0.877	1.16	1.14	<0.313	4.06	-
2006	1.62	1.41	0.833	0.424	1.62	-
2007	0.827	1.47	0.278	0.420	0.983	0.185
2008	0.754	1.23	0.381	0.473	2.08	0.369
2009	1.035	0.766	0.333	0.228	1.68	3.365
비교	- KINS, 2009년 ^{137}Cs <MDA~14.3 Bq/kgdry - KHNP, 2004~2008년, 0.426~14.9 Bq/kgdry					

표층토양에서의 ^{137}Cs 분포 경향을 나타낸 위의 [Table 2]를 통해 볼 수 있듯이 지난 10년간 검출된 ^{137}Cs 농도 범위는 연평균 기준으로 <0.294~4.06 Bq · (kg · dry) $^{-1}$ 로 나타났고, 시료채취 지점 및 시기에 따라 다소 차이를 보였다. ^{137}Cs 농도가 최대로 나타난 시료는 2005년에 비교지점인 고창에서 채취한 토양이다.

한국원자력안전기술원에서 2009년 전국 토양을 대상으로 ^{137}Cs 농도를 분석한 후 제시한 결과 값은 <MDA~14.3 Bq · (kg · dry) $^{-1}$ 로[2], 원자력사업자가 2004년~2008년까지 영광원전 주변지역의 토양을 분석한 후 제시한 ^{137}Cs 농도범위는 연평균 기준으로 0.426~14.9 Bq · (kg · dry) $^{-1}$ 로 각각 나타났대[4]. 위의 두 기관에서 제시한 결과를 보면 전국 토양과 영광원전 주변 토양에서의 ^{137}Cs 농도 값에 큰 차이가 없는 것을 알 수 있고, 또한 본 기관에서 지난 10년간 영광원전 주변 지역의 토양을 대상으로 분석한 ^{137}Cs 농도 값이 위의 두 기관에서 제시한 결과 범위 내에 포함되는 것을 알 수 있다[2]. 이러한 계측 및 분석 결과에 근거하여 토양시료의 경우 영광원전

운영으로 인한 영향은 없는 것으로 본 연구에서는 판단하였다.

해저퇴적물의 경우 2000년부터 2009년까지 영광원전 주변 지역인 고창 구시포와 홍농 가마미, 비교 지역인 무안, 영광원전 내인 취수구와 배수구에서 채취한 시료를 대상으로 감마동위원소를 분석하였고, 그 결과를 아래의 [Table 3]에 나타내었다.

Table 3. ¹³⁷Cs Analysis Result on Submarine Deposit Samples.

[단위 : Bq/kgdry]

	취수구	배수구	홍농 (가마미)	고창군	무안군
2000	-	-	-	0.34	1.01
2001	-	-	-	2.25	1.29
2002	-	-	1.90	0.228	-
2003	-	-	1.35	1.58	-
2004	-	-	0.442	0.316	-
2005	-	-	0.394	0.289	-
2006	1.57	1.05	-	-	-
2007	1.67	1.06	-	-	-
2008	1.33	1.24	-	-	-
2009	1.18	0.81	-	-	-
비고	- KINS, 2005~2009년 <0.405~4.23 Bq/kgdry - KHNP, 2004~2008년, 0.862~1.91 Bq/kgdry				

위의 [Table 3]에서 보여주듯이 고창과 홍농, 무안지역에서는 2000년부터 2005년까지만 시료를 채취하였고, 발전소 내인 취수구와 배수구의 경우 2006년부터 시료 채취가 가능하여 분석 및 계측을 수행하였다. 검출된 ¹³⁷Cs 농도 범위는 연평균 기준으로 0.228~2.25 Bq · (kg · dry)⁻¹로 나타났고, 최대 농도는 2001년에 고창 구시포의 해저퇴적물 시료에서 나타났으며, 모든 지점에서의 ¹³⁷Cs 농도 분포 경향이 비슷한 것을 확인할 수 있다. 발전소 내인 취수구와 배수구에서 검출된 ¹³⁷Cs 농도 범위는 0.81~1.67 Bq · (kg · dry)⁻¹로 검출되었다.

한국원자력안전기술원에서 2005년~2009년까지 최근 5년간 4개 원전 주변의 취수구와 배수구에서 채취한 해저 퇴적물을 분석한 후 제시한 ¹³⁷Cs 농도 범위는 <0.405~4.23 Bq · (kg · dry)⁻¹ 이었고[3], 영광원자력사업자가 2004년~2008년까지 영광원전 주변지역의 해저퇴적물을 계측 및 분석한 후 제시한 ¹³⁷Cs 농도범위는 연평균 기준으로 0.862~1.91 Bq · (kg · dry)⁻¹로, 본 기관에서 제시한 결과와 비슷한 수준을 나타냈다[4].

해수 시료는 해저퇴적물 채취지점과 동일한 지점에서 시료를 채취하였고, ¹³⁷Cs 만을 선택적으로 분리할 수 있는 AMP-MnO₂ 방법을 사용하여 전처리를 수행한 후 계측 및 분석을 수행하였고, 그 결과를 아래의 [Table 4]에 나타내었다.

해수시료 분석결과 검출된 ¹³⁷Cs 농도 범위는 연평균 기준으로 <25.0~13.8 mBq · L⁻¹로 나타났고, 2000년에 비교지점인 무안 해제면에서 채취한 해수에서 13.8

mBq · L⁻¹로 가장 높게 나타났으며, 가장 높게 검출된 무안을 제외하면 시료채취 시기 및 지점에 따라 분포 경향에 큰 차이가 없는 것을 위의 [Table 4]를 통해 볼 수 있다.

Table 4. ¹³⁷Cs Analysis Result on Seawater Samples.

[단위 : mBq/L]

	취수구	배수구	홍농읍	고창군	무안군
2000	-	-	-	3.36	13.8
2001	-	-	-	3.10	2.58
2002	-	-	2.80	2.50	-
2003	-	-	3.17	3.41	-
2004	-	-	2.70	3.25	-
2005	1.94	1.81	-	-	-
2006	1.88	2.26	-	-	-
2007	2.38	2.33	-	-	-
2008	1.76	2.00	-	-	-
2009	1.85	2.33	-	-	-
비고	- KINS, 2004~2008년 1.34~4.50 mBq/L - KHNP, 2004~2008년, 2.16~2.65 mBq/L				

한국원자력안전기술원에서 2004년부터 2008년까지 최근 5년간 동해안 8개 지점의 표층해수를 대상으로 분석한 후 제시한 ¹³⁷Cs 농도범위는 1.34~4.50 mBq · L⁻¹ 이었고[2], 동일한 시기에 영광원자력본부에서 영광원전 주변 지역의 해수를 대상으로 분석 후 제시한 ¹³⁷Cs 농도 범위는 연평균 기준으로 2.16~2.65 mBq · L⁻¹이다[4]. 본 기관에서 원전주변 해수시료를 분석한 결과 무안에서 채취한 해수 시료를 제외한 모든 시료에서 검출된 ¹³⁷Cs 농도 범위가 위의 두 기관에서 제시한 결과 범위 내에 포함되고, 시료채취 시기 및 지점별로 분포 경향에 큰 차이를 보이지 않았기 때문에 영광원전 운영으로 인한 특이한 사항은 없는 것으로 본 논문에서는 판단하였다.

나. 전베타방사능 분석결과

2000년부터 2009년까지 원전주변 지역인 홍농과 원전 내부인 전망대, 비교 지역인 영광읍에서 채취한 빗물 시료와 원전주변 지역인 홍농과 고창 구시포, 원전 내부인 취수구와 배수구, 비교지역인 무안에서 채취한 해수시료를 대상으로 전베타 방사능농도를 분석하였고, 그 결과를 아래의 [Table 5]와 [Table 6]에 나타내었다. [Table 5]와 [Table 6]은 각각 빗물과 해수 시료에서의 전베타 방사능 농도 분포경향을 나타낸 것이다. 분석 결과 빗물과 해수 시료에서 검출된 전베타 방사능 농도 범위는 연평균 기준으로 각각 0.0163~0.141 Bq · L⁻¹, 7.10~9.39 Bq · L⁻¹로 나타났다.

Table 5. Gross Beta Analysis Result on Rain Samples.

[단위 : Bq/L]

	전망대	홍농읍	영광군
2000	-	0,0174	0,0163
2001	-	0,0618	0,0272
2002	-	0,0491	0,0441
2003	-	0,0285	0,0240
2004	-	0,0308	0,0292
2005	0,0384	-	0,0399
2006	0,0464	-	0,0672
2007	0,0795	-	0,0819
2008	0,0533	-	0,141
2009	0,0772	-	0,0626
비고	- KHNP, 2004~2008년, 0,0437~0,0813 Bq/L		

Table 6. Gross Beta Analysis Result on Seawater Samples.

[단위 : Bq/L]

	취수구	배수구	홍농읍	고창군	무안군
2000	-	-	-	7.59	7.04
2001	-	-	-	7.62	7.67
2002	-	-	8,12	8,73	-
2003	-	-	7,10	7,60	-
2004	-	-	7,80	7,54	-
2005	7,65	7,72	-	-	-
2006	7,96	8,37	-	-	-
2007	7,63	7,77	-	-	-
2008	9,39	8,91	-	-	-
2009	9,23	9,38	-	-	-
비고	- KHNP, 2004~2008년, 7,82~9,31 Bq/L				

먼저, 빗물에서의 전베타 농도분석 결과를 나타낸 위의 [Table 5]에서 보여 주듯이 2000년~2004년에는 홍농 성산리와 영광 무령리에서 빗물시료를 채취하였고, 2005년 이후에는 발전소 내인 전망대와 비교 지점인 영광에서 빗물시료를 채취하였다. 2000년의 경우 홍농 성산리에서 채취한 시료에서 전베타 농도가 영광에 비해 상당히 높게 나타나고 있지만 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 볼 수 있고, 2003년도와 2004년도에는 두 지점에서의 농도가 거의 같아지는 것을 확인 할 수 있다.

2005년도부터 발전소 부지 내부에서 시료채취가 가능해짐에 따라 시료채취 지점을 홍농 성산리에서 전망대로 변경하였다. [Table 5]에서 보여 주듯이 발전소 내부인 전망대의 빗물시료에서 검출된 전베타 농도는 시료채취 시기에 따라 다소 차이를 보이고 있지만 뚜렷한 경향은 나타나지 않고 있고, 비교 지점인 영광읍에 비해 대부분 낮게 검출된 것을 알 수 있다.

원자력사업자가 2004년~2008년까지 영광원전 주변지역의 빗물 시료를 대상으로 제시한 전베타방사능 농도는 연평균 기준으로 0.0437~0.0813 Bq · L⁻¹로[4], 본 연구에서 제시한 결과와 큰 차이는 나타나지 않았다.

해수 시료에 대한 전베타 분석결과를 나타낸 아래의 [Table 6]을 통해 확인 할 수 있듯이 시료채취 지점 및 시기에 따른 차이는 거의 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 또한, 영광원전 내부인 취·배수구의 해수시료에서 검출된 전베타 농도 값이 영광원전 주변 지역인 무안, 고창, 홍농 등에서 검출된 값과 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다.

2005년 이후에는 취수구와 배수구에서 채취한 해수 시료에 대해서만 전베타 방사능을 분석하였다. 원자력사업자가 2004년~2008년까지 영광원전 주변지역의 해수를 대상으로 전베타를 분석한 결과 검출된 농도는 연평균 기준으로 7.82~9.31 Bq · L⁻¹로 나타났고, 본 연구에서 제시한 결과와 큰 차이는 나타나지 않았다[4].

위의 분석 및 자료 조사 결과에 근거하여 해수 시료의 경우 발전소 운영으로 인한 영향은 없는 것으로 본 논문에서는 판단하였다.

다. ³H 분석결과

본 논문에서 2000년~2009년에 영광원전 내부와 주변, 비교 지점에서 채취한 빗물 및 해수 시료에 대한 ³H 분석결과를 아래의 [Table 7]과 [Table 8]에 각각 나타내었다.

Table 7. ³H Analysis Result on Rain Samples.

[단위 : Bq/L]

	전망대	홍농읍	영광군
2000	-	<1,07	<1,10
2001	-	<1,02	<1,02
2002	-	<0,669	<0,657
2003	-	3,44	0,809
2004	-	3,18	2,14
2005	36,2	-	1,11
2006	40,0	-	1,94
2007	34,1	-	1,34
2008	30,5	-	<1,00
2009	34,6	-	1,46
비고	- KINS, 2000~2009년 0,406~1,93 Bq/L - KHNP, 2004~2008년, 2,93~40,3 Bq/L		

Table 8. ³H Analysis Result on Seawater Samples..

[단위 : Bq/L]

	취수구	배수구	홍농(가마미)	고창군
2000	-	-	-	<1,38
2001	-	-	-	2,78
2002	-	-	1,15	5,13
2003	-	-	1,26	1,06
2004	-	-	2,86	4,33
2005	2,75	6,65	-	-
2006	4,64	3,08	-	-
2007	6,49	17,8	-	-
2008	2,97	8,22	-	-
2009	2,59	9,72	-	-
비고	- KHNP, 2004~2008년, 2,99~10,3 Bq/L			

먼저, 빗물에서의 ^3H 농도는 2004년까지 원전주변 지역인 홍농과 비교지점인 영광에서 검출된 ^3H 의 농도 범위는 연평균 기준으로 $\langle 1.02\sim 3.44 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 와 $\langle 1.02\sim 2.14 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 각각 나타났다. 반면, 2005년부터 2009년까지 원전 내부인 전망대와 비교지점인 영광에서 검출된 농도는 연평균 기준으로 각각 $30.5\sim 40.0 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 와 $\langle 1.00\sim 1.94 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 전망대에서 검출된 농도가 원전주변 지역과 비교지점에서 채취한 시료에 비해 약 20배 정도 높게 나타난 것을 알 수 있다.

한국원자력안전기술원에서 2000년~2009년에 전국의 빗물을 대상으로 ^3H 를 분석한 후 제시한 농도 범위는 연평균 기준으로 $0.406\sim 1.93 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 전망대에서 채취한 시료를 제외하면 본 연구에서 제시한 결과와 거의 차이가 없었다²⁾.

또한, 영광원자력사업자가 2004년~2008년까지 영광원전 주변지역과 발전소 내의 전망대 빗물을 분석한 후 제시한 ^3H 의 연평균 농도범위는 $2.93\sim 40.3 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 이었고, 전망대 시료에서 최대로 검출되었다⁴⁾.

전망대 빗물에서 ^3H 농도가 다른 지역에 비해 최대값 기준으로 약 20배 정도 높게 검출되었다. 검출된 농도는 법적 기준치보다 낮은 수치이긴 하지만 영광원전 운영으로 인해 주위 환경으로 방출된 기체형태의 ^3H 에 의한 영향이라 본 연구에서는 판단하였고, 그 물리적 근거는 다음과 같다.

- 발전소에서 기체형태의 ^3H 가 외부환경으로 방출되면 기상조건에 따라 공기 중에서 확산과정을 거치게 되는데, 이 과정에서 발전소에서 멀어질수록 공기 중에 존재하는 농도는 감소하게 된다.
- 전망대의 경우 홍농과 영광에 비해 발전소에 가장 근접한 지점에 위치하고 있기 때문에 다른 지점에 비해 공기 중 ^3H 농도가 높을 수밖에 없다.
- 확산 과정에서 비나 눈이 내리게 되면 공기 중에 존재하던 ^3H 는 빗물이나 눈에 의해 흡수되어 지표면에 침적되기 때문에 전망대 빗물에서 ^3H 농도가 다른 지점에 비해 높게 나타난 것이라 본 연구에서는 판단하였다.

2001년부터 2009년까지 발전소 내인 취수구 및 배수구와 발전소 주변지역인 홍농 가마미와 고창 구시포에서 채취한 해수 시료에 대한 ^3H 분석 결과를 아래의 [Table 8]에 나타내었다. [Table 8]을 통해 확인할 수 있듯이 해수에서 검출된 ^3H 농도 범위는 연평균 기준으로 $\langle 1.38\sim 17.8 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 나타났다.

[Table 8]을 보면 2004년까지 영광원전 주변지역인 홍농과 고창에서 검출된 ^3H 의 연평균 농도는 $\langle 1.38\sim 5.13 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 로, 2005년부터 발전소 내인 취수구와 배수구에서 $2.59\sim 17.8 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 각각 검출된 것을 알 수 있다. 또한, 2006년을 제외하면 배수구에서 ^3H 농도가 취수구에 비해 약 140~280% 정도 높게 검출되었고, 2005년 배수구 시료에서 최대로 나타났다.

기존의 자료조사 결과에 의하면 영광원자력사업자는 2004년~2008년에 영광원전 발전소 내인 취·배수구의

해수 시료를 분석한 후 제시한 ^3H 농도는 연평균 기준으로 $2.99\sim 10.3 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 이었다⁴⁾. 배수구에서 최대로 검출되었고, 2006년도의 분석 결과를 제외하면 본 연구에서 제시한 결과와 거의 차이가 나타나지 않았다.

위의 분석 및 자료 조사 결과에 근거하여 배수구의 해수에서 검출된 ^3H 농도가 원전주변 지역과 비교지점, 취수구에서 검출된 농도 비해 높게 나타났기 때문에 본 연구에서는 원전운영으로 인한 영향이 나타난 것으로 판단하였다.

2000년부터 2009년까지 영광원자력발전소로부터 방출된 액·기체 형태의 ^3H 농도를 아래의 [Table 9]에 나타내었다. [Table 9]에서 보여 주듯이 기체와 액체 형태로 방출된 농도 범위는 각각 $4.18\sim 17.6 \text{ TBq}$, $9.45\sim 89.5 \text{ TBq}$ 로 환경으로 방출된 ^3H 중 기체형태가 15~31% 정도 차지하고 있는 것을 알 수 있다⁴⁾.

Table 9. ^3H Emission Amount of Yeong-Gwang Nuclear Power Plant.

년도	기체방출량(TBq)	액체방출량(TBq)
2000	6.81	38.7
2001	4.18	9.45
2002	12.9	39.1
2003	13.2	55.1
2004	12.1	55.1
2005	12.9	42.7
2006	13.8	53.7
2007	16.8	50.9
2008	17.6	89.5
2009	13.5	45.6

라. ^{90}Sr 분석결과

본 기관에서는 2000년부터 2009년까지 발전소 내인 청경사택, 본부 후문, 배수로와 발전소 주변인 홍농과 고창에서 채취한 토양 시료에 대한 ^{90}Sr 농도를 분석하였고, 그 결과를 아래의 [Table 10]에 제시하였다. 2004년까지는 발전소 주변의 토양시료만 분석하였고, 발전소 내의 토양시료는 2005년부터 시료채취가 가능하게 되어 2005년부터 분석을 수행하였다.

Table 10. ^{90}Sr Analysis Result on Soil Samples.

[단위 : Bq/kgdry]					
	배수구	청경사택	본부후문	홍농읍	고창군
2000	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	$\langle 0.206$	-
2002	-	-	-	$\langle 0.248$	$\langle 0.178$
2003	-	-	-	$\langle 0.211$	$\langle 0.197$
2004	-	-	-	0.55	0.705
2005	0.554	$\langle 0.104$	0.408	$\langle 0.115$	1.25
2006	0.234	$\langle 0.094$	0.232	0.234	0.988
2007	1.01	0.476	0.595	0.217	0.438
2008	$\langle 0.0935$	$\langle 0.106$	$\langle 0.0998$	$\langle 0.0991$	$\langle 0.105$
2009	$\langle 0.0919$	$\langle 0.0942$	$\langle 0.0793$	-	-
비교	- KINS, 2004~2008년 $\langle 0.234\sim 4.36 \text{ Bq/kgdry}$ - KHNP, 2004~2008년, $0.152\sim 0.182 \text{ Bq/kgdry}$				

분석 결과 ^{90}Sr 은 2003년까지는 검출되지 않았고, 2004년부터 검출되었으며, 검출된 ^{90}Sr 농도 범위는 연평균 기준으로 $\langle 0.0793\sim 1.25 \text{ Bq} \cdot (\text{kg} \cdot \text{dry})^{-1}$ 로 나타났다. 검출된 ^{90}Sr 의 최대 농도는 2005년에 고창에서 채취한 토양시료에서 나타났다. 주변지역인 흥농, 고창과 발전소 내인 배수구, 청경사택, 본부후문에서 검출된 농도 범위는 연평균 기준으로 각각 $\langle 0.0991\sim 1.25 \text{ Bq} \cdot (\text{kg} \cdot \text{dry})^{-1}$ 와 $\langle 0.0793\sim 1.01 \text{ Bq} \cdot (\text{kg} \cdot \text{dry})^{-1}$ 로 원전주변 지역에서 검출된 농도가 발전소 내에서 검출된 농도에 비해 다소 높게 나타났다.

한국원자력안전기술원에서 2004년부터 2008년까지 최근 5년간 4개 원전주변 지역의 토양 시료를 분석한 후 제시한 ^{90}Sr 농도범위는 $\langle 0.234\sim 4.36 \text{ Bq} \cdot (\text{kg} \cdot \text{dry})^{-1}$ 이었고[3], 영광원자력사업자가 2004년부터 2008년까지 영광원전 주변지역의 토양 시료를 분석한 후 제시한 ^{90}Sr 의 연평균 농도범위는 $0.152\sim 0.182 \text{ Bq} \cdot (\text{kg} \cdot \text{dry})^{-1}$ 로 나타났다[4].

본 연구에서 조사한 결과가 한국원자력안전기술원에서 제시한 범위 내에 포함되고, 발전소 내에서 검출된 ^{90}Sr 농도가 원전주변지역에서 검출된 농도에 비해 낮기 때문에 이러한 분석 및 자료조사 결과에 근거하여 토양에서 검출된 ^{90}Sr 의 경우 원전운영으로 인한 영향은 없는 것으로 본 연구에서는 판단하였다.

2000년부터 2009년까지 발전소 주변인 흥농과 고창, 발전소 내인 배수구와 취수구에서 채취한 해수 시료에 대한 ^{90}Sr 분석 결과를 아래의 [Table 11]에 나타내었다.

Table 11. ^{90}Sr Analysis Result on Seawater Samples.

[단위 : mBq/L]

	취수구	배수구	흥농읍	고창군
2000	-	-	-	1.07
2001	-	-	-	1.80
2002	-	-	$\langle 0.300$	0.850
2003	-	-	$\langle 0.300$	0.575
2004	-	-	0.775	0.750
2005	1.40	1.30	-	-
2006	1.28	1.80	-	-
2007	$\langle 0.225$	0.950	-	-
2008	0.663	0.327	-	-
2009	0.335	2.57	-	-
비고	- KINS, 2004~2008년 $\langle 0.150\sim 3.20 \text{ mBq/L}$ - KHNP, 2004~2008년, $1.10\sim 1.48 \text{ mBq/L}$			

[Table 11]에서 보여 주듯이 발전소 주변인 흥농과 고창의 경우 2004년까지 분석을 하였고, 발전소 내인 취수구와 배수구 해수의 경우 2005년부터 분석을 수행하였다. 해수에서 검출된 ^{90}Sr 농도 범위는 연평균 기준으로 $\langle 0.30\sim 2.57 \text{ mBq} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 나타났고, 최대 농도는 2009년에 배수구에서 채취한 시료에서 나타났다. 또한, 발전소 내부인 취·배수구에서 검출된 ^{90}Sr 분포 및 농도 경향에 원전운영으로 영향이라고 판단한 만한 특이한 사항은 발견

되지 않았다.

한국원자력안전기술원에서 2004년부터 2008년까지 최근 5년간 4개 원전주변의 취수구 및 배수구에서 채취한 해수시료를 분석한 후 제시한 ^{90}Sr 농도범위는 연평균 기준으로 $\langle 0.150\sim 3.20 \text{ mBq} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 나타났고, 영광원자력사업자가 2004년부터 2008년까지 해수시료를 분석한 후 제시한 ^{90}Sr 의 연평균 농도범위는 $1.10\sim 1.48 \text{ mBq} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 위의 두 기관에서 제시한 농도와 본 기관에서 제시한 결과 값이 비슷한 수준으로 나타난 것을 알 수 있다[4].

이러한 분석 및 자료 조사 결과에 근거하여 해수 시료에서 검출된 ^{90}Sr 의 경우 원전 운영으로 인한 특이한 사항은 없는 것으로 본 연구에서는 판단하였다.

마. 종합평가

본 기관에서 2000년~2009년까지 조사한 육상 및 해상 시료를 대상으로 총 3,000여건 이상을 분석한 결과 대부분의 시료에서 원전의 영향이라 할 수 있는 인공핵종이 검출되지 않았다.

인공핵종인 ^{137}Cs 이 검출된 시료는 표층토양, 해저퇴적물, 해수 등으로 이들 시료에서 검출된 농도는 한국원자력안전기술원과 영광원자력사업자가 제시한 농도 범위와 유사하였고 환경에서 ^{137}Cs 와 유사한 거동을 보이는 ^{134}Cs 가 검출되지 않았기 때문에 과거 핵실험에 의한 영향이 아직까지 남아있는 것으로 본 논문에서는 판단하였다.

발전소 내인 전망대 빗물과 해수 시료에서 검출된 ^3H 농도가 법적 기준치 이내이긴 하지만 높게 나타난 것은 원전으로부터 방출되는 액·기체 형태의 ^3H 영향인 것으로 판단되며, 향후 지속적인 분석 및 평가를 수행 할 예정이다.

4. 결론

본 기관에서 2000년부터 2009년까지 영광원전 주변과 부지 내부, 비교지점에 존재하는 약 3,000 여건 이상의 육·해상 시료를 채취한 후 감마동위원소와 전베타, ^3H , ^{90}Sr 등의 농도를 분석한 결과 표층토양과 해저퇴적물, 해수, 전망대 빗물 등의 시료를 제외한 모든 시료에서 영광원전 운영으로 인한 영향이라고 판단할 수 있는 인공방사성핵종은 검출되지 않았고, 표층토양과 해저퇴적물, 해수, 전망대 빗물 등의 시료를 분석한 결과 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- 감마동위원소를 분석한 결과 인공핵종인 ^{137}Cs 이 표층토양과 해저퇴적물, 해수 시료 모두에서 검출되었지만 한국원자력안전기술원과 영광원자력사업자가 제시한 농도 범위와 유사하였고 환경에서 ^{137}Cs 와 유사한 거동을 보이는 ^{134}Cs 가 검출되지 않았기 때문에 영광원전 운영으로 인한 영향은 없고 과거 핵실험에 의한 영향이 아직까지 남아있는 것으로 본 조사에서는 판단하였다.
- 영광원전 내부인 전망대 빗물과 취·배수구의 해수

시료에 대한 ^3H 농도를 분석한 결과 전망대 빗물과 해수 시료에서 검출된 농도는 각각 $30.5\sim 40.0 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 과 $\langle 1.07\sim 17.8 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 나타났다. 전망대 빗물은 한국원자력안전기술원에서 제시한 결과와 비교지점의 빗물에서 검출된 농도에 비해 약 20배 정도 높게 검출되었고, 영광원자력사업자가 제시한 결과와 유사한 값을 보였다. 해수 시료의 경우 영광원자력사업자가 제시한 농도에 비해 다소 높게 검출되었고, 배수구 해수에서 검출된 ^3H 농도가 취수구에 비해 12~170% 정도 높게 검출되었다.

- 영광원자력발전소 내부의 전망대 빗물과 취·배수구의 해수 시료에서 검출된 ^3H 농도가 비록 법적 기준치 이내로 나타났지만 원전부지 주변과 비교지점에 비해 상당히 높게 나타난 것은 원전으로부터 방출되는 ^3H 의 영향인 것으로 본 조사에서는 판단하였고, 이들 시료에 대해서는 향후에도 지속적인 분석 및 평가가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 교육과학기술부. 고시 제2010-32호 : 원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가에 관한 고시. 2010.
2. KINS. 전국환경방사능조사. KINS/ER-028, Vol.41. 2009.
3. KINS. 원자력이용시설 주변 방사선 환경조사 및 평가 보고서. KINS/AR-140, Vol.20. 2009.
4. 한국수력원자력(주). 원자력발전소 주변 환경방사능 조사 및 평가보고서. 2009.
5. 영광원자력발전소 민간환경·안전감시위원회. 연보. 2000~2009.
6. 경북대학교 방사선과학연구소. 방사능 분석법. 2005.
7. KINS. Manual of standard procedures for Environmental sampling and radioactivity analysis. Korea Institute of Nuclear Safety, KINS/G-009.
8. Wallac Company. 1220 Quantulus Liquid Scintillation Counter(Instrument Manual). 1995.

Evaluation and Consideration on Environmental Radiation Analysis of Yeong-Gwang Nuclear Power Plant Site Inside&Outside(2000~2009 year)

Sang-Jun Han*, Seung-Jin Lee[†], Goung-Jin Lee*, Na-Young Lee[†], Hee-Gang Kim[†], and Ji-Yeon Mun[†]

*Chosun University, [†]Yeong-Gwang N.P.P Supervisory Center for Environment Radiation & Safety

Abstract - Yeong-Gwang N.P.P Private Environment Supervisory Organization analyzed over 3,000 samples including 10 marine and 24 land samples from the year 2,000 to 2009. According to the results of the analysis, artificial nuclides that resulted from the effect of Yeong-Gwang Nuclear Power Plant operations were not detected in most samples. However, from the rain and seawater samples, which were taken from inside the plants such as the intake, the discharge and the observatory, ^3H was detected although it was below the regulation level. The ^3H concentration detected in the rain taken from the observatory, by the yearly average criterion, was $30.5\sim 40.0 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$, which is around 20 times the ^3H concentration detected in the surroundings of the power plants, but it is 0.1% of the regulation level of $40,000 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$. Also, ^3H concentration detected in the seawater taken from the intake and the discharge, by the yearly average criterion, was $2.75\sim 17.8 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$, which means the concentration detected in the discharge is about 140~280% higher than that detected in the intake except the year 2006. Based on these results, it was determined that, although lower than the regulation level, the ^3H in gas and liquid form detected in the rain and seawater sampled from the observatory and the discharge was released into the environment from the power plants.

Therefore, regular monitoring and analysis is required on the level of ^3H in the observatory and the discharge.

Keywords : Yeong-Gwang N.P.P Private Environment Supervisory Organization, Environmental Radiations, Observatory Rain, Intake&Discharge Seawater, ^3H