

# 미국 원전 지하수 감시 사례 조사

손욱, 손순환, 이갑복, 양양희

한수원(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성대로 1312번길 70

wsohn@khnp.co.kr

## 1. 서론

2005년 이후, 미 원전 부지내 지하수에서 방사성 핵종(주로 삼중수소)이 검출된 것을 계기로 방사성 물질의 비계획적 방출에 의한 원전 부지내 지하수 오염 가능성이 제시되었다. 이에 미국 원자력산업 협의체인 Nuclear Energy Institute가 2007년에 수립한 산업계 지하수 보호 자율방안인 Industry Ground Water Protection Initiative(NEI 07-07)에 따라 미국 전 원전은 현재 지하수 감시를 실시하고 있다. 이에 본 논문에서는 중앙연구원에서 조사한 대표적인 미국 원전 중에서 Vermont Yankee 원전과 Turkey Point 원전의 지하수 감시 사례를 소개하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 감시우물 설치 현황

#### 2.1.1 Vermont Yankee 원전

Vermont Yankee 원전은 2007년에 NEI 07-07에 따라 설치된 14개의 우물 감시망을 통해 2009년에 발견된 방사성물질 누출의 원인 조사 및 수리를 위해 추가적으로 20개의 우물을 설치하여 운영 중에 있다. 우물의 종류로는 Monitoring Well, Sentinel Well 및 Plume Monitoring Well이 있다. Figure 1은 해당 부지에 설치된 우물 위치와 함께, 지하수 흐름 방향, 각 우물의 표고 및 측정된 삼중수소 농도가 표시하고 있다.



Fig. 1. Vermont Yankee 원전 우물 위치.

#### 2.1.2 Turkey Point 원전

Turkey Point 원전에는 총 132개의 우물이 설치되었으나 그 중 현재 사용이 가능한 것은 총 31개로, 이중 22개의 우물은 원전 부지내에, 그리고 나머지 6개 우물은 Cooling Canal 주변에 각각 설치되어 있다. Cooling Canal에 우물을 설치한 이유는 2000 ~ 2007년 사이에 채취된 Canal 시료의 분석결과, 삼중수소 농도가 상대적으로 높았기 때문이다. Turkey Point 원전도, Vermont Yankee 원전과 비슷하게, 우물을 Sentinel Well, Monitoring Well, Site Boundary Well로 구분하여 운영하고 있다. 부지내 해당 우물의 위치를 Fig. 2에 제시한다.

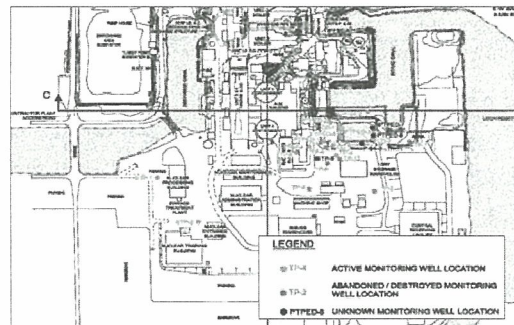


Fig. 2. Turkey Point 원전 우물 위치.

### 2.2 시료 채취 주기

#### 2.2.1 Vermont Yankee 원전

Vermont Yankee 원전은 Table 1에서 보는 바와 같이, Monitoring Well과 Sentinel Well의 정상시 시료채취 주기는 모두 분기 1회로 정하고, 전자의 경우는 4년 동안의 삼중수소 분석결과가 MDC<sup>1)</sup> 이하일 경우 연 1회까지 분석주기를 늘릴 수 있도록 한 반면 후자의 경우는 분석결과가 MDC를 초과할 경우 월 1회로 감시를 강화하도록 했다. 또한 Plume Monitoring Well의 경우는 Plume의 확정 후에는 목적에 따라 시료채취 주기를 운영하도록 하고 있다.

1) Minimum Detectable Concentration

Table 1. Vermont Yankee 원전의 우물별 시료채취 주기.

Well Type	분석결과	주기
<b>Monitoring Well</b>		
첫해	MDC 이하	분기1회
첫해 이후	MDC 이하	연2회
4년 이후	4년간의 분석결과가 MDC 이하	연1회
<b>Sentinel Well</b>		
운영시 부터	MDC 이하	분기1회
운영중	MDC 초과	월1회
운영중	연속 6개 시료 분석결과가 MDC 이하	분기1회
<b>Plume Monitoring Well</b>		
운영시부터 Plume의 확정 및 누설 정지시 까지	MDC 초과	조사 필요에 따라 실시
Plume 확정 후	MDC 초과	월1회
운영중	연속 6개 시료 분석결과가 MDC 이하	타 우물 기준 준용

2.2.2 Turkey Point 원전

Turkey Point 원전은 상대적으로 매우 상세한 시료채취 주기 규정을 두고 있다. 먼저 모든 우물에 대한 정상시 시료채취 주기는 최소 연 1회로 규정된 후(Sentinel Well은 분기 1회), 다음과 같은 절차에 따라 시료채취 주기를 변경하도록 하였다.

- 삼중수소 분석결과가 통계학적으로 기준농도<sup>2)</sup>보다 높고 동시에 이전 시료분석 결과 및 분석 예상치가 기준농도보다 낮을 경우 시료채취 주기를 분기 1회로 단축한다.
- 다음의 두 조건 중 하나라도 충족될시 시료채취 주기를 월 1회로 단축한다.
  - ① 삼중수소 분석결과가 통계학적으로 기준농도보다 높은 상태에서, 분석결과가 최소 3회 연속으로 설명되지 않은 원인으로 증가했거나 또는, 분석결과가 바로 이전의 분석결과보다 적어도 3배 이상 증가했을 경우
  - ② 분석결과가 12,000 pCi/L를 초과할 경우
- 다음의 경우에는 월 1회보다 짧은 주기로 시료채취를 해야 하며 구체적인 주기는 담당자가 정한다.

2) 기준농도는 최소 10개 시료의 평균값으로, 해당 우물지역의 평균 삼중수소 농도를 나타낸다.

- ① 규제기관 규제치<sup>3)</sup> 초과시 다음의 조건의 충족시 시료채취 주기를 분기1회로의 늘릴 수 있다.
- ② 분석결과가 최소 3회 연속으로 감소 추세를 보이면서 분석치가 12,000 pCi/L 이하인 경우
- 2회 연속 분기 분석결과가 기준농도 이하인 경우 시료채취 주기를 연 1회로의 늘릴 수 있다(Sentinel Well 제외).

3. 결론

미국 원전 부지 지하수 감시의 대표적인 사례로써 Vermont Yankee 원전과 Turkey Point 원전 두 곳의 설치 우물의 현황 및 시료채취 주기 등을 간단히 소개하였다. 두 사례에서, 우물의 설치 위치는 해당 원전의 부지 특성, 특히 수문지질 특성 및 오염원 등에 크게 결정됨을 알 수 있었다. 또한, 효율적인 지하수 감시를 위해, 감시 목적에 따라 우물을 구분하여 운영하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 조사 결과는 향후 국내에서 지하수 감시가 실시될 경우 참고사항으로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

- [1] 원전 부지 지하수 모니터링 방안 연구(최종보고서), 2011, 한국수력원자력(주).
- [2] 원자력기술 선진화를 위한 EPRI 국제공동연구(최종보고서), 2012, 한국수력원자력(주).
- [3] Groundwater Monitoring Plan, 연도미상, Vermont Yankee Nuclear Power Station.
- [4] Strategic Plan: Ground Water Protection Program, 2009, Turkey Point Plan.
- [5] FPL Nuclear Fleet Ground Water Protection Program, 2005, Florida Power and Light Co.

3) 미국 NRC의 규제치는 지하수가 음용수로 사용되는 원전의 경우는 20,000 pCi/L, 그렇지 않은 경우는 30,000 pCi/L이다.