

헝가리 PAKS 원전 주변 환경시료중의 ^{14}C 감시 경험

강덕원, 양양희, 이갑복, 김진길*, 김현태*, 이기현*
한전 전력연구원,*하나검사기술(주)

E-mail: dwkang@kepri.re.kr

중심어 : 방사성탄소(^{14}C), Bubbler 포집기, 환경시료, ^{14}C 화학형, 배기구

서론

북반구, 남반구 및 적도지방 등에 대해 대기중 방사성탄소 분포에 관한 조사들이 지난 수십년간 상당히 이루어져 왔다. 또한 1950년대 및 60년대의 대기권 핵실험 기간 및 이후의 대류권에 대한 체계적인 범지구적인 $^{14}\text{CO}_2$ 관찰이 이루어졌다. 현재에는, 환경으로의 인위적인 ^{14}C 방출 빈도와 방사능을 측정하기 위한, 원자력발전소나 방사성폐기물 처분장 주변에 대한 ^{14}C 측정의 중요도가 증가하고 있다. Levin과 Kromer 등은, 1990~1996년 동안 Schauinsland의 연평균 $\Delta^{14}\text{CO}_2$ 값이 148.3~102.5‰ 됨을 발표하였으며, 이 값이 북반구의 대표적인 대기 중 ^{14}C 농도로 받아들여지고 있다. 스웨덴의 Barseback NPP 주변의 수목연륜 및 공기 중에서 ^{14}C 초과분이 검출되었으며, Ignalina NPP (Beralus) 주변의 환경, 채소 및 발전소와 운하로 연결된 Drisvyaty 호수에서도 다소 증가한 ^{14}C 준위(120~150PMC)가 관찰되었다. 경수로에서 ^{14}C 은 (1) 핵연료, 감속재 및 냉각수중의 산소의 $^{17}\text{O}(n,\alpha)^{14}\text{C}$ 반응, (2) 핵연료, 감속재 및 냉각수 중의 질소의 $^{17}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ 반응에 의해 생성된다. 평균 ^{14}C 생성율은 핵연료에서 $0.57 \text{ TBqGWe}^{-1}\text{y}^{-1}$, 구조재에서 $0.97 \text{ TBqGWe}^{-1}\text{y}^{-1}$, 냉각재에서 $0.19 \text{ TBqGWe}^{-1}\text{y}^{-1}$ 이나 (Kunz 1985), 미국형 로형이 훨씬 적게 방출되고 있는 것으로 알려져 있다. 생성된 ^{14}C 의 대부분은 stack을 통해 환경으로 방출되며, 액상이나 고체상 폐기물로 방출되는 ^{14}C 방사능은 기체상의 약 5% 미만이다. Paks 원전은 WWER-440/213형의 4기에서 총 1,860

MW(electrical) 출력으로 가동 중이며 헝가리에서 만들어지는 총 전기량의 40% 이상이 이곳에서 생산되고 있다. 경수로 원전인 Paks는 2003년도 4월 연료집합체 세정과정 중 세정탱크 내 냉각문제로 핵연료집합체 손상사고가 발생하였으며 이로 인해, Paks 원전 주변의 ^{14}C 감시는 배기용 stack, 환경 공기, 핵폐기물 및 1차 냉각재 중의 ^{14}C 농도를 측정해 오고 있다. Paks 원전 stack 배기체 중의 ^{14}C 농도는 80~200 Bq/m^3 이며, 1988~1993년 기간 중 연평균 배출량은 탄화수소의 경우 $0.74 \text{ TBqGWe}^{-1}\text{y}^{-1}$, $^{14}\text{CO}_2$ 의 경우 $0.06 \text{ TBqGWe}^{-1}\text{y}^{-1}$ 이었다. 기술적인 진전에 의해, 연간 총 방출량은 2000년도 0.92 TBqy^{-1} 에서 2005년도에는 0.69 TBqy^{-1} 로 감소하였다. 핵연료 손상으로 다량의 불활성 기체들이 방출되었으나, 총 ^{14}C 방출에는 영향을 주지 않았다. 본 논문에서는 2000~2005년 기간 중 Paks 원전 주변의 $\Delta^{14}\text{C}$ 감시 경험에 대해 소개하고자 한다.

조사방식 및 감시지점 선정

1. 조사방식

- Station B24의, Paks 원전 방출의 영향을 받지 않는, “백그라운드” 측정소 사용여부 결정 (여기서, 백그라운드는 자연적인 생산, 대기권 핵실험 및 화석연료 연소에 의한 희석 등에 의한 지역적 대기 중 ^{14}C 방사능)
- 정상작동 조건하에서의 Paks 원전 인접 지역에서의 ^{14}C 농도 측정
- 기 언급된 2003년도 경미한 사고 영향평가 계측법을 제외한 모든 방법이 자연계 수준인

46mBq/m³ 측정이 가능함을 알 수 있다.

2. 감시지점 선정

- Paks 원전에서 30km 떨어진 지점(B24)
- Paks 원전 stack(100m)에서 2km 이내에 있는 지점, A1; A4; A6; A8 (Fig. 1 참조)

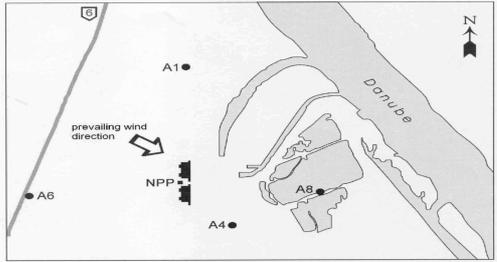


Fig. 1. The station of the atmosphere monitoring station in the vicinity of Paks NPP

¹⁴C 감시 및 방법

다양한 화학종중의 ¹⁴C 측정을 위해 분별 ¹⁴C 포집기(Fig. 2 참조)들이 개발되었다. 탄화수소는 450°C로 가열된 Pt-Pd 촉매에 의해 산화되므로, ¹⁴C는 모든 화합물에 대해 ¹⁴CO₂ 형태로 포집된다. ¹⁴CO₂는 3M NaOH로 채워진 bubbler에서 포집되며, 유량률과 촉매온도는 포집기에 의해 제어된다. 시료 유량은 10 l/hr로 4주 단위로 포집되며 bubbler형 트랩에 의해 99.9% 정도의 효율로 포집된다. 탄화수소의 ¹⁴CO₂ 전환효율은 99.7% 이상을 나타냈다. ¹⁴CO₂ 추출은 NaOH 용액에 H₂SO₄를 가함으로서 이루어지며, 추출된 ¹⁴CO₂는 활성탄에 통과시켜 정화한 다음 액화질소로 냉각 정화한 후 기체비례계수기로 측정하였다.

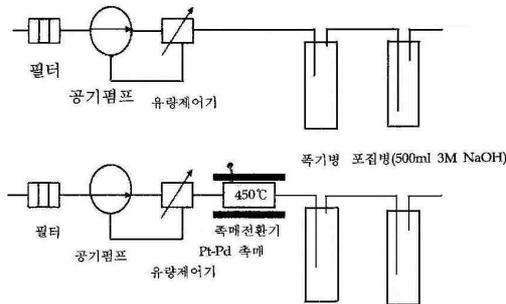


Fig. 2. ¹⁴C 포집장치 구성도.

포집하였으며, $\Delta^{14}\text{C}$ 값은 합분과 ¹⁴CO₂ 분율을 모두 측정하였다(그림 3. 참조). 각 곡선들은 B24 백그라운

드 지점의 기준치와 동일한 계절변화를 보인다. A4에서 커다란 변동이 발견되며 (그림 3. 참조), 이들은 주로 Paks 원전으로부터 방출되는 방사능의 변화에 기인하며, 일부 바람의 강도와 방향에 의해서도 영향을 받는다. 여름철의 높은 피크값은 원자로의 연중 유지 보수 직전의 가동정지 동안의 상당한 방출에 기인한다.

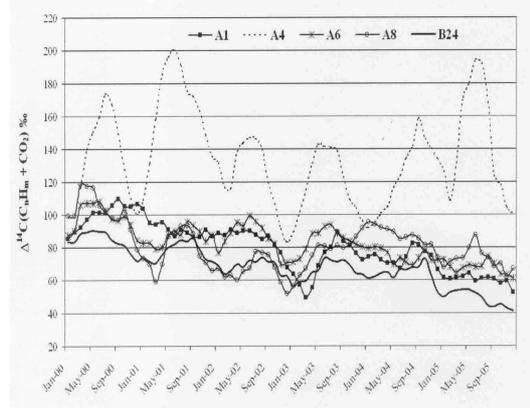


Fig. 3. $\Delta^{14}\text{C}$ values measured on the C_nH_m+CO₂ fraction smoothing over 5 months.

결론

최대 ¹⁴C 값은 Paks 원전에서 1km 떨어진 A4에서 측정되었으며, 합분의 초과 $\Delta^{14}\text{C}$ 값은 40~100% 사이에서, ¹⁴CO₂분의 초과 $\Delta^{14}\text{C}$ 값은 5~15% 사이에서 변화를 보였다. 다른 측정소에서는 (발전소에서 1.5~2km 떨어진) 초과 $\Delta^{14}\text{C}$ 값이 평균 13.0±2.6% 이었다. 환경에서의 ¹⁴C 방출의 영향은 발전소로부터의 거리에 따라 급격히 감소하였으며, 정상 운전 하에서 Paks 원전의 영향은 2.5km 거리에서는 무시할 정도이다. 2003년도 세정탱크 사고 후 모든 측정소에서 $\Delta^{14}\text{CO}_2$ 값이 5~10% 증가하였으며, 2004년도에는 서서히 감소하다가 2005년도 후반에 감소세가 멈추었다. 비록 가동수명동안 가압경수로에서 배출되는 ¹⁴C의 국부적, 지역적 영향은 자연적으로 생성되는 ¹⁴C의 영향에 비해 적더라도, 호기별로 ¹⁴C가 방출되는 화학종간의 비율들 간에 현저한 차이가 있을 수 있으므로, 정기적인 ¹⁴C 방출감시가 필요하다고 본다.