

CANDU형 원자로 압력관의 Scrape 시편에 대한 방사능 및 운반조건 평가

주광태, 유보중, 김서열, 박영환

고려공업검사(주), 서울특별시 용산구 서계동 224-21

gtjoo@chol.com

1. 서론

월성원자력발전소는 CANDU6형 원자력발전소로서 수평으로 놓여진 원통형 원자로(Calandria)에 380개의 핵연료 채널 집합체가 가로로 설치되어 있다. 핵연료집합체는 압력관, 원자로관, 엔드피팅 등으로 구성되어 있으며 압력관은 기능상 경수로 발전소의 Reactor Vessel에 해당하는 매우 중요한 부품으로 수명기간동안 안전성 확보 및 유지를 위하여 엔드피팅과의 확관시 예상되는 잔류응력에 의한 영향 등의 평가를 정기적으로 실시한다. 압력관(Pressure Tube)의 재질은 Cold Worked Zr 및 2.5 wt% Nb 으로 이루어져 있으며 노심 내에서 핵연료를 지지하고 냉각재 유량의 제어 및 냉각재의 압력경계를 유지하는 역할을 담당하므로 정기적인 체적검사는 물론 정기적인 재질분석을 통하여 재질의 건전성 여부를 평가하고 있다. 검사방법은 정기적인 검사주기에 따라 결함유무 확인을 위한 탐상검사, 치수검사, 압력관과 원자로관 간격 측정 등의 체적검사와 가동중 중수소 증가량 및 증가율 확인을 목적으로 수행하는 재질분석으로 크게 구분할 수 있다.

본고에서는 압력관 재질분석에 사용되는 고방사능 Scrape 시편에 대한 방사능 평가 및 방사성물질 운반물등급 평가를 목적으로 AECL의 압력관 방사능 분석자료를 이용하여 교육과학기술부 고시 제2007-22호 “방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 규정”에서 규정하고 있는 운반물 등급을 만족하기 위한 방사능량 및 방사선량률 조건의 예를 제시하고자 한다.

2. 본론

압력관 재질분석을 위한 시료채취는 정기적으로 수행하는 체적검사 후 Scrape Sampling Tool을 이용하며 고방사선 물질인 관계로 작업자의 외부피폭을 최소화하기 위하여 압력관으로부터 시료채취 즉시 Shield Flask 내에 삽입하게 되므로 시설 내에서 효과적이고 적절한 방사능 측정이 용이하지 못한 상황이다. 따라서 Shield Flask 내에 보관되지 않은 상태에서의 방사능 평가는 곤란하여 Shield Flask 내에 보관된 상태로 방사능 평가를 수행하나 MCA 등 핵종분석장비의 이용범위는 Geometry의 불일치는 물론 고방사능에 의한 불감시간의 증가로 대표적인 주요핵종의 분율 확인 정도로 제한된다.

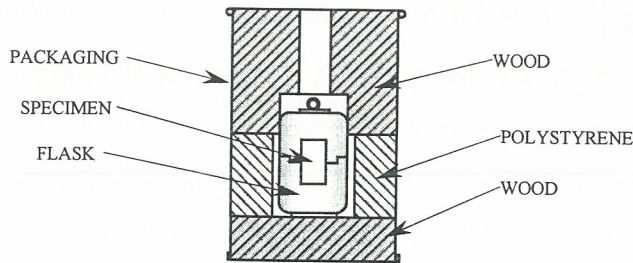


Fig. 1 Type 'A' 운반용기의 예

현장에서는 압력관 Scrape 시료에 대한 주요핵종의 방출분율과 방사선량 측정값을 근거로 간접 계산에 의한 방사능량 및 운반물등급을 평가하고 있으므로 월성1호기에서 시행된 SFCR 수행 및 이와 관련하여 이후 AECL에서 제시한 압력관 방사능 평가자료를 이용하여 평가결과를 비교하고자 한다. 압력관 시료채취는 계획예방정비기간중 이루어지며 일반적으로 원자로 정지 후 30일 이내에 정비가 종료되고 압력관 시료의 채취는 정비기간 중반에 이루어지므로 아래 표에서 제시한 압력관 1개월 냉각 후 핵종별 방사능 분율의 활용은 시료의 방사선(능) 측정 시점을 감안할 때 적절한 것으로 판단된다.

특정 방사성핵종의 수량에 대한 조사선량률을 정의할 때 일반적으로 Γ -factor를 사용하여 단위 거리에서의 방사선량률로 정의하며 이의 계산식은 다음과 같다.

$$\dot{X} = \frac{\Gamma S}{d^2} \text{ 또는 } S = \frac{d^2 \dot{X}}{\Gamma}, \text{ 여기서 } \dot{X} : \text{조사선량률, } \Gamma : \Gamma\text{-factor, } d : \text{거리, } S : \text{방사능} \dots\dots (1)$$

상기식은 다양한 핵종이 존재할 경우 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S_{total} = d^2 \dot{X} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i}{\Gamma_i} \right), \text{ 여기서 } f_i : \text{핵종 } i \text{의 방사능 분율} \dots\dots\dots (2)$$

표 1. CANDU형 원자로 압력관의 1개월 냉각 후 핵종특성

| Species | Activity(Ci/kg) | Half Life(days) | Activity % | etc. |
|---------|-----------------|-----------------|------------|-------------------------|
| Nb-95 | 285 | 44.98 | 50.353 | ※ Refer to AECL Data |
| Zr-95 | 235 | 64.03 | 41.519 | |
| Hf-179m | 21 | 25.10 | 3.710 | |
| Hf-181 | 12 | 42.40 | 2.120 | |
| Cr-51 | 5 | 27.70 | 0.883 | |
| Co-60 | 4 | 1,924.28 | 0.708 | |
| Ta-182 | 3 | 114.50 | 0.530 | |
| Hf-175 | 1 | 70.10 | 0.177 | |

표 2. 압력관 핵종별 Γ -factor 및 A_2 value

| Species | Nb-95 | Z-95 | Hf-179m | Hf-181 | Cr-51 | Co-60 | Ta-182 | Hf-175 |
|--|-------|-------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|
| Γ -factor ($R \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot Ci^{-1}$) | 0.43 | 0.42 | 0.50 | 0.31 | 0.018 | 1.30 | 0.68 | 0.21 |
| A_2 value (TBq) | 1E+00 | 8E-01 | 1E-01* | 5E-01 | 3E+01 | 4E-01 | 5E-01 | 3E+00 |

* : 교육과학기술부 고시 제2007-22호 “별표1. 기본방사선핵종에 대한 A_1 및 A_2 값”이 존재하지 않는 관계로 보수적 판단을 위하여 별표2의 베타·감마 방출핵종 존재에 대한 A_2 값 적용.

따라서 표1의 자료를 상기 식(2)에 적용하고 정리하면 압력관 시료의 총방사능량은 다음과 같다.

$$S_{total} = 2.814 d^2 \dot{X} (Ci) \dots\dots\dots (3)$$

또한 A형 운반용기로 운송 가능한 운반물의 방사능량 평가는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$d^2 \dot{X} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i}{\Gamma_i} \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i}{A_i} \right) < 1, \text{ 여기서 } A_i : \text{핵종 } i \text{의 } A \text{값} \dots\dots\dots (4)$$

식(4)를 표1 및 표2의 자료를 이용하여 정리하고 1 m 거리에서의 방사선량률로 표현하면

$$0.1526 d^2 \dot{X} < 1 \dots\dots\dots (5)$$

$$\dot{X} < 6.554 (R/hr) \dots\dots\dots (6)$$

즉, 상기자료에 근거하여 A형 운반용기에 의한 운송조건 최대값은 1 m 거리에서 6.5 R/hr 이다.

3. 결 론

상기 산출식을 총방사능량과 A값에 대한 운반물등급 판정기준에 대하여 현장 측정값과 비교한 결과, 상기 식(4)에 의한 값이 현장 평가값 대비 1.2~1.3배로 보수적으로 평가되었으며 압력관 Scrape 시료에 대한 식(4)의 좌변값이 0.05 이하 수준으로 A형 운반용기로의 운반에 적합한 것으로 평가되었다.

참고문헌

- [1] IAEA Safety Standards Series No.TS-R-1 Safety Requirements “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material”(2003).
- [2] 교육과학기술부 고시 제2007-22호 “방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 규정”.
- [3] David R. Lide et al., Handbook of Chemistry and Physics, 85th edition, pp. 11-50~201, CRC Press(2004)