

수침법에 의한 밀도시험의 측정불확도 산출 및 평가

엄성호 · 박대규 · 송응섭 · 류우석 · 황용화 · 이형권 · 권형문

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045(덕진동 150-1)

eom@kaeri.re.kr

밀도측정의 시험방법(원리)은 아르키메데스 원리(Archimedes principle)을 응용한 방법으로 물천칭(Hydrostatic balance)를 사용하며 이를 수침법(Immersion method)이라 한다. 이 방법은 실제 시료 부피를 측정하지 않고 유체속에서 시료무게를 측정하여 그 부력에 의한 부피를 결정하여 밀도를 측정한다. 수학적 모델링 산출식은 다음과 같다.

$$D_s = \frac{m}{v_s} = \frac{(w_2 - w_1) \cdot d'}{(w_2 - w_1) - (w_4 - w_3)}$$

여기서 D_s : 시료의 밀도(g/cm^3)

w_1 : 공기중 시료접시무게(g)

w_2 : 공기중 시료접시 + 시료무게(g)

w_3 : 유체내 시료접시무게(g)

w_4 : 유체내 시료접시 + 시료무게(g)

d' : 유체의 밀도(g/cm^3)

수침법에 의한 밀도측정시 관여되는 불확도 요인은 여러가지가 있으나 크게 3가지만을 고려하기로 하였다. 다른 요인들 즉 무게측정시 지구위도 및 고도에 따른 중력변화와 지자기에 따른 영향은 공통적으로 무게 측정시 같은 비율로 영향을 주기 때문에 제외하였다. 또한 환경조건에 따른 핫셀내의 공기 대류영향도 저울의 장비가 유리상자로 밀폐되어 이러한 요인을 제거하도록 되어있어 제외하였다. 따라서 첫째 공기 및 유체 중에서 무게측정시 무게에 주는 요인을 평가하고 둘째 유체의 온도에 따른 밀도변화와 입력자료의 불확도에 의한 영향을 평가하였으며 마지막으로 장비의 측정불확도를 표준분동을 갖고 불확도로 평가하여 합성표준불확도를 평가하였다. 밀도측정 불확도 요인은 다음 그림 1과 같다.

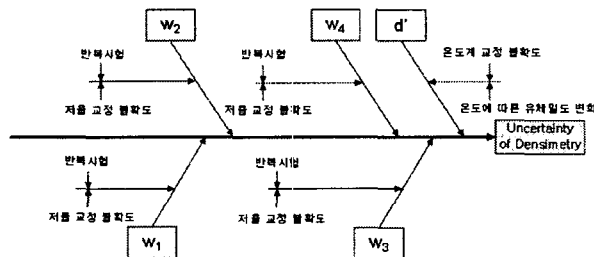


Fig. 1. Input Parameter Cause-Effect Diagram.

본 연구에서는 표준시료 밀도시험의 측정불확도 평가와 관련하여, 수침법의 경우를 응용하여 측정불확도 요소 각각을 산출하고 감도계수, 유효자유도 및 확장불확도 등을 계산하는 과정에 대

해 평가하였으며 그 결과를 보고하고자 하였다. 측정불확도 평가결과, 측정방법은 공기중에 접시무게 측정(W_1), 공기중에 접시무게와 시료무게 측정(W_2), 유체중에 접시무게 측정(W_3), 유체중에 접시무게와 시료무게 측정(W_4) 그리고 온도에 따른 유체(toluene)밀도(d') 변화 값 등에서 오는 불확도가 주요 불확도 요소인 것으로 평가되었다. 이 측정방법에 대해 합성 표준불확도를 산출한 결과 0.003 g/cm^3 인 것으로 계산되었다. 합성 표준불확도 산출결과에는 전기식지시저울 자체교정 추정 불확도 및 시료의 계측에서 오는 불확도의 기여가 가장 큰 것으로 평가되었다. 이와 같은 시험방법의 측정 불확도 산출결과는 사용후핵연료 연소에 따른 연료의 소결 밀도시험에 대한 신뢰도 및 유효성을 평가하기 위한 하나의 지표로 활용하였다.