

원전고화폐기물 특성시험을 위한 시험법 선정방법

김기홍, 유영결, 홍권표

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

정의영, 박종현, 김현

한국수력원자력(주) 원자력환경기술원

대전광역시 유성구 덕진동 150

SUMMARY

국가의 규제기관과 처분장에서는 방사성 폐기물의 안전한 영구처분을 위하여 폐기물 수용(인수) 기준을 폐기물 발생자에게 준수토록 요구하게 되는데 이러한 폐기물 수용(인수)기준은 처분시설의 가동동안 인간과 환경 보호 그리고 최대 300년간의 제도적 통제기간을 고려하여 처분장의 안전성 확보를 위하여 설정되어진다.

폐기물 수용(인수)기준중 고화체의 안정성 평가와 관련하여 미국(NRC/BTP)은 폐기물의 종류와 고화매질에 따라 유리수, 압축강도, 방사성 조사특성, 미생물 영향 특성, 침수 및 침출 특성, 열순환 특성 등에 대하여 표준시험법을 제시하였으며, 또한 그의 기술기준치도 제시하고 있다. 그리고 프랑스(DRDD/ BECC)에서는 미국보다 매우 세밀하게 평가항목들을 분류하는 등의 처분장 운영 국가에서는 고화체의 안정성관련 평가시험들을 처분 환경과 처분방식에 맞게 표준화하고 있다.

한편 국내에서는 과기부 고시 제2001-32호 “중.저준위 방사성폐기물 인도규정”이 있으나 이에선 고화체 관련하여 정성적인 안정성에 대하여서만 기술되어 있다. 이에 따라 원전폐기물 고화체에 대한 안정성 평가를 위한 시험법을 선정하기 위하여 아래 그림과 같은 절차에 따라 수행토록 하였다. 우선 대표적인 천층처분 운영국가인 미국과 프랑스의 시험법 그리고 IAEA 권고 시험법과 유사관련 한국 산업표준법들을 조사하고, 이들 시험법들의 주요 차이점을 기술적 관점에서 비교 평가하고, 이어서 모의 방사성 및 비방사성 고화체를 이용하여 상기 시험법들을 각각 적용하고 또한 이들 시험법들간의 차이(시험 조건, 시편의 크기 등)에 기인한 상호 비교시험을 통하여 얻어진 시험결과들을 종합적으로 비교 검토하여 보수적 관점에서 시험법을 선정하는 것으로 방향을 잡았다. 이때 시험결과를 얻기 위한 모든 과정에 품질보증 활동을 적용키로 하였으며, 시험결과 분석/평가 과정과 시험법 선정에 각계(규제기관, 학계, 발전소 현장 및 산업계 등) 전문가로부터 기술자문회의를 통하여 자문 의견을 받기로 하였다. 특히 현재 폐기물 인수 기술기준치가 설정된 국가의 시험법을 심층있게 검토하기로 하였다.

고화체 안정성관련 주요 시험항목에서의 국가간 시험법의 차이는 다음과 같다.

1. 압축강도

시멘트와 같은 rigid형 고화체에 대하여서 미국(ASTM C-39)은 시편의 크기를 $1.8 < \text{직경/높이 (D/L)} < 2.2$, 재하속도는 0.24 ~ 0.34 MPa/s를, 프랑스(FT-02-010)에서는 직경/높이(D/L, D = 110mm) = 2.0, 재하속도는 0.5 MPa/s 그리고 한국의 KS F 2405에서는 직경/높이(D/L, D = 100mm) = 2.0, 재하속도는 0.65 MPa/s를 제시하고 있다.

한편 파라핀과 같은 flexible 형 고화체에 대하여서는 미국 (ASTM D-1074)은 시편의 크기를 직경/높이(D/L) = 1, 재하속도는 0.05L mm/min를, 프랑스(FT-02-011)에서는 직경/높이(D/L, D = 80mm) = 1.5, 재하속도는 0.3L mm/min를 제시하고 있다. 한국의 시험법인 KS F 2351은 미국의 시험과 동일하다.

2. 열순환 시험

미국은 ASTM B-553, 프랑스에서는 FT-02-031를 적용하고 있다. 현재 ASTM B-553은 ASTM에서 사용하고 있지 않지만 NRC/BTP에서는 이의 사용을 권고하고 있다. ASTM B-553의 시험조건은 +22℃(1시간) → +60℃(1시간) → -30℃(1시간)을 1주기로 하여 총 30회의 주기 시험을 요구하고 있으며, FT-02-031에서는 +5℃(2시간) → -20℃(24시간) → +5℃의 동결과정을 1주기로 하여 총 5회를 수행한 후 이어서 +5℃(2시간) → +40℃(24시간) → +5℃의 용해과정을 1주기로 하여 총 5회를 시험토록 하고 있다. 한편 한국의 KS-F-2456은 토건에 사용되는 콘크리트의 급속 동결 용해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법에 관한 것으로서 시험방법 A와 B는 서로 다른 환경을 갖게 되며, 동결-용해 사이클은 A 시험법은 4℃ → -18℃, B 시험법은 -18℃ → 4℃를 1 사이클로 하여 총 300회의 사이클에 고화체를 노출시키게 한다. 본 시험법에서는 매 36 사이클 마다 시편을 시험 장치로부터 꺼내어 주파수 시험(KS-F-2437)을 하게 된다.

3. 침수 시험

현재 고화체의 침수 특성에 대하여서는 어떠한 시험법도 없다. 이에 따라 본 시험에서는 각국에서 표준시험법으로 채택하고 있는 침출시험법을 이용하여 내침수성을 시험코자 하였다.

4. 침출 시험

중저준위 폐기물 고화체에 널리 이용되는 시험법으로는 IAEA 시험, ANS 16.1 및 프랑스의 FT-04-020 등이 있다. 이들 시험법의 주요 차이점은 침출수에 대한 시편의 노출상태, 침출수 교체주기 및 총 시험일수 및 결과 표현방법에 있다.

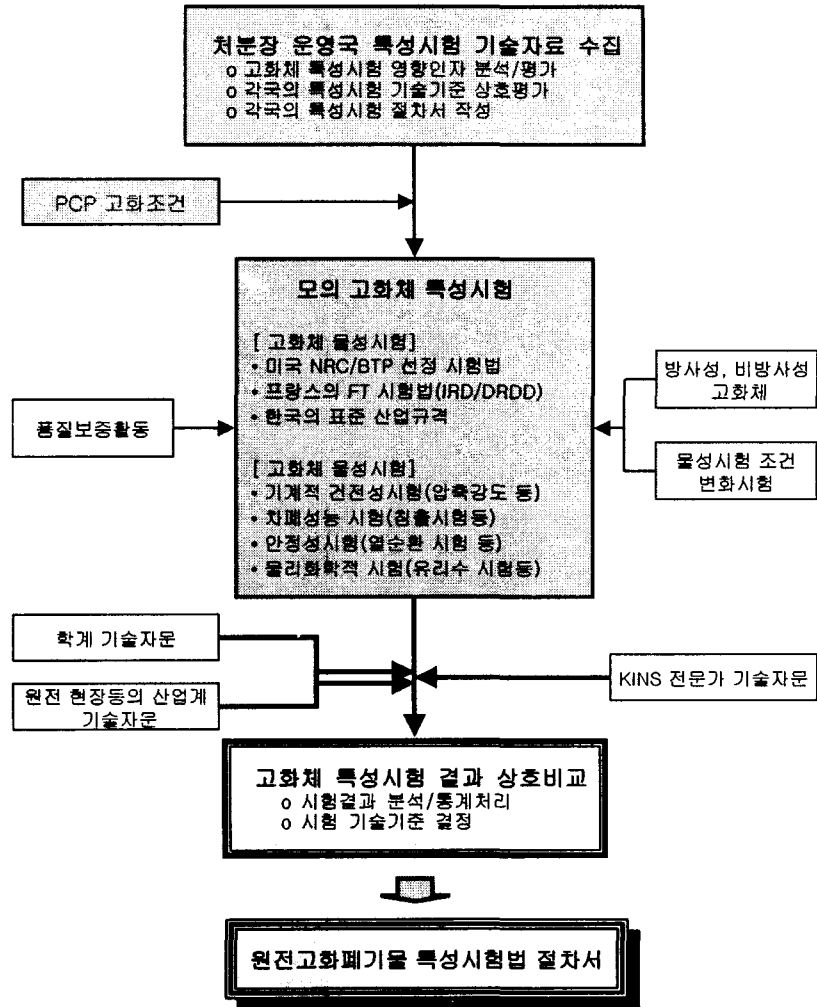


그림 1 원전고화폐기물 특성시험을 위한 시험법 선정절차

5. 방사선 조사 시험

방사선 고화체에 대한 방사선 조사 시험법으로 프랑스의 FT-05-030이 있다. 미국에서는 시험법은 없으나 NRC/BTP에서 이에 대한 입장을 제시하였다. 미국에서는 이온교환수지나 기타 유기물질을 함유하고 있지 않거나 예상되는 누적 피폭량이 10^9 rads 이상이 되지 않을 경우, 10^8 rads 까지, 프랑스에서는 10^7 rads까지 고화체 시편이 피폭될 때까지 조사하여 고화체의 건전성을 평가토록 하고 있다. 특히 프랑스에서는 조사 선량을 $5 \times 10^2 < \text{dose rate} < 5 \times 10^3$ Gy/hr로 할 것을 요구하고 있다.