

확률론적 처분안전성평가에 필요한 입력자료들의 통계처리방안

박정균, 정종태

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

ckpark@kaeri.re.kr

1. 서 론

고준위폐기물을 심부지하에 처분하였을 경우에 대한 처분안전성을 평가하는 데에는 수많은 불확실성이 내재한다. 이를 고려하여 안전성평가 세부 시나리오와 모델을 설정할 때에는 가장 위해를 끼칠 영향이 큰 경우를 가정하는 보수적 개념을 적용해 결정론적 평가를 수행하는 것이 일반적인 작업이다. 그러나, 결과로 얻어지는 확정적 자료값은 신뢰도의 한계와 범위를 설정하기 어렵다. 그래서, 최근에는 처분후 방사성핵종누출 및 생태계로 이동경로 각 단계마다 필요한 매개변수들의 값을 실험에서 측정된 자료값 들의 분포를 토대로 확률론적으로 안전성을 평가하여 처분시스템이 놓이게 되는 다양한 상황에서 안전성결과에 변위를 예측하는 방안이 고려되고 있다. 이를 위해 원자력연구원에서는 Goldsim기반 안전성평가 코드를 개발하였고, 이에 요구되는 다양한 입력변수들에 대해 실험을 통해 값들을 측정하고, 외국 실험치들도 같이 통계처리하여 확률론적 안전성평가도구를 완성하고 개발한 한국형처분시스템의 안전성평가에도 활용하고자한다. 이에 일환으로 본 논문에서는 입력매개변수들의 취합방안, 통계처리방법론, 확률함수 설정방안 등에 대해 다루고자한다.

2. 연구 내용

현재 활용중인 Goldsim 기반 폐쇄후안전성평가코드에 사용되는 모든 입력변수들을 목록으로 작성한 다음, 통계처리가 필요한 주요입력변수들을 선정하고, 중요한 몇가지 매개변수들을 통계처리하는 과정을 거치게 되는데, 일차적으로 모든 입력변수를 핵종이동구회별로 다음과 같이 분류하였다.

- (1) 공학방벽(Eng. system) : 핵종량(source term), 처분용기, 폐기물구성체
- (2) 근계영역(Near field) : 콘크리트, 벤토나이트, 뒷채움재(backfill)

(3) 원계영역(Far field) : 암석, 토양, 침전물(sediments)

(4) 생태계(Biosphere) : 강, 바다, 식물, 동물
다음으로 통계처리 대상선정 기본 방향을 다음과 같이 수립하였다.

- (1) 불확실도가 높은 매개변수를 주요대상 : 천연방벽에서 핵종이동관련 변수
- (2) 조건변화가 심한 경우 : 온도, 지화학적조건 - 인공방벽
- (3) 안전성평가에 미치는 중요도가 큰 매개변수 : 핵종용해도(solubility)
- (4) 설계인자는 고정값 우선 : 용기 두께, 충전재 두께등

다음단계로 선정된 주요입력변수들의 확률분포를 계산추정하기위해 참고문헌조사와 실험데이터를 수집하여, Excel 화일로 계통별로 분류 정리하였다. 다음단계로, 데이터를 통계처리한 후 계산결과를 새로운 Excel 화일로 정리하여 안전성평가코드 입력화일로 연계하도록 하였다.

통계처리방법으로 모멘텀분석법(momentum analysis)을 도입하였다. 대표적으로 데이터들이 그림1과 같이 정규분포를 가진다고 가정하면, 평균과 분산은 다음 식으로 구하게 된다.

$$\text{- 평균 } \mu = \frac{\sum m_i n_i}{\sum n_i}$$

$$\text{- 분산 } \sigma^2 = \frac{\sum m_i^2 n_i}{\sum n_i} - \mu^2$$

매개변수별로 다양한 분포양태를 가지므로 이들을 모두 정규분포함수로 가정하고 평균 및 분산을 구하기 어렵다. 그래서, 자료들의 분포양태를 파악한 다음 이들에 적합한 함수들을 추가로 도입하여 각 매개변수별로 부합되는 함수로 통계처리하도록 하였다.

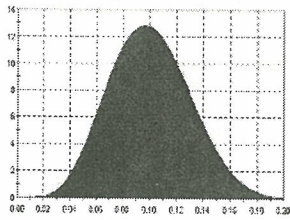


Fig. 1. Typical shape of a Normal distribution

통계처리에 적용할 함수들은 다음과 같다.

- . 단일분포함수(uniform distribution)
- . 삼각분포함수 (triangular distribution)
- . 지수함수분포 (exponential distribution)
- . 극단확률분포 (extreme probability distribution)

다음으로 고려해야할 것이 통계처리한 함수를 가지고 어떻게 계산단계별로 입력값을 선정할 것인가하는 문제이다. 확률론적 계산에 기본방향은 주어진 확률함수 범위내에서 임의 값을 추출하는 것이므로 다음과 같은 식을 만들어 적용하였다.

$$- [\text{입력값}] = \mu + \sigma^2 [1.0 - 2[\text{무작위수}]^0.5]$$

$$- [\text{입력값}] = f(N * [\text{무작위수}]^0.5)$$

두 식중 위의 것은 매개변수가 확률분포함수를 가질 때 평균과 표준편차값을 이용해 임의로 무작위수를 생성시켜 입력값을 계산하는 방식이다. 두 번째는 자료분포가 산발적이어서 확률분포함수적용이 어려운 경우에 적용하는 식이다. 입력변수가 함수분포를 가질 때 Goldsim에서 계산시 입력값을 선정하기위해 자료분포범위내 균등분할 선정방법인 Latin Hypercube 방법을 도입하도록 하였다.

이상과 같은 방법론을 수립하고, 구체적인 계산 단계로 핵종들의 지하매질에대한 수착분배계수(Kd)를 통계처리하였다. 핵종수착계수(Kd)는 매질별, 지하화조건별로 많은 차이를 가지므로, 국내 처분장조건에서 접하는 매질 별 Kd 값을 화강암, 콘크리트, 벤토나이트, 토양등으로 분류하여 각각 별도 통계처리하였다. 또한, 이동경로에 따라 지하화조건이 환원상태에서 산화상태로 변함에 따라 Kd값도 변하므로 이를 반영하여 산화, 환원조건별로 나누어 처리하였다. 수착실험자료는 원자력 연구원에서 개발한 Web-based SDB

(KAERI-SDB)를 이용하여 각 핵종별 매질별 Kd 값을 분하고, Excel file 작성하였다.

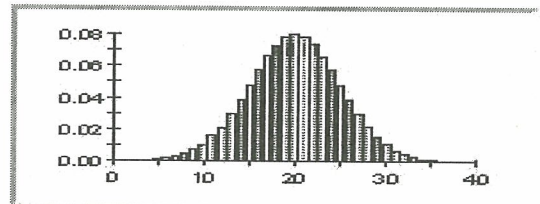


Fig. 2. data sampling with Latin Hypercube method

3. 결 론

방사성폐기물 처분안전성 평가를 위해 Goldsim 기반 안전성평가코드를 개발하였고, 확률론적 안전성평가로 확대하기위해 관련 작업을 수행하고 있다. 이에 일환으로 입력매개변수들의 취합방안, 통계처리방법론, 확률함수 설정방안등을 수립하였다. 다양한 입력변수들의 값을 조사해서 그 분포를 구하고 확률함수로 표현해 평가코드에 입력자료로 활용하는 시스템을 구축하였다. 다양한 입력변수들에 대해 국내실험을 통해 측정된 값들을 중심으로 외국실험치들도 같이 통계처리하여 확률론적 안전성평가도구를 완성하고 개발한 한국형 처분시스템의 안전성평가에도 활용하고자한다.

4. 참고문헌

- [1] J. Seinfeld and L. Lapidus, Process modeling, estimation, and identification, Prentice-Hall, 1974.
- [2] Goldsim tech. group, Goldsim user's manual, 2007.
- [3] J.bendat,A.Piersol, random data : Analysis and measurement procedures,Wiley-interscience, 1971.
- [4] KAERI, Web-based SDB (KAERI-SDB) <http://sdb.kaeri.re.kr1999>.
- [5] K.Andersson, Transport of radionuclides in water/mineral system, Chalmers univ. 1983.