

사용후핵연료에 속한 핵종량 표본자료의 동질성 검정  
Equivalence Test for Sample Data of Isotopic Compositions  
in PWR Spent Fuel

이윤희, 신희성, 노성기, 이주찬, 김호동  
한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

기존의 사용후핵연료 핵종량 실험값 자료와 최근에 공개된 일본 JAERI의 실험자료를 통합하는 방법에 대해 연구하였다. 두 집단에서 연소도가 30 GWd/tU 이상인 사용후핵연료 실험자료를 갖는 22개 핵종을 대상으로 F 검정과 T 검정방법을 이용하여 정규성, 등분산성, 동일평균에 대한 검정을 유의수준 5 %에서 수행하였다. 정규성 검정결과, 기존자료의 U-238과 Nd-148을 제외한 모든 핵종이 정규성을 만족하였고, 등분산성 검정결과에서는 U-234를 포함한 16개 핵종이 등분산을 만족하였다. 동일평균에 대한 검정결과에서는 U-235를 포함한 9개 핵종이 동일평균을 갖는 것으로 나타났다. 3가지 검정결과를 동시에 만족하여 동질집단으로 결정할 수 있는 핵종은 U-235, Pu-240, Pu-241, Cs-134, Nd-144 및 Sm-148로 판정되었다.

ABSTRACT

Statistical combination method for previous and JAERI data of isotopic compositions in PWR spent fuel has been investigated. Using the F and T statistical test method, tests for the normality, the homogeneous variance and equivalent mean at a 5 % significance level have been carried out for twenty two isotopes which consist of spent fuel over 30 GWd/tU in burnup. All isotopes except U-238 and Nd-148 seem to be satisfied with the normality. 16 isotopes including U-234 seem to be satisfied with the homogeneous variance. 9 isotopes including U-235 seem to have a equivalent mean. 6 isotopes of U-235, Pu-240, Pu-241, Cs-134, Nd-144 and Sm-148 are appeared to be satisfied simultaneously with 3 alternative test results.

1. 서 론

서로 다른 원자료에서 얻은 사용후핵연료내 핵종들의 핵종량은 거의 동일한 조건하에서 얻은 실험값이다. 각 핵종에 대한 실험값 대비 계산값의 비율을 확률표본으로 구성하여 이를 근거로 여러 가지 통계분석을 수행한다. 자료가 충분하지 못해 새로 얻은 표본을 기존 표본에 추가하여 하나의 확률표본으로 사용하는 것이 보통이다. 그러나 서로 독립적인 두 표본을 하나의 확률표본으로 통합하기 위해서는 두 표본이 서로 동일한 정규분포모집단을 갖는다고 가정해야 한다. 따라서 두 표본의 모집단이 동일 정규분포인지를 검정해야 할 필요가 있다. 동일한 정규분포에 대한 검정

은 두 정규모집단의 평균 및 분산이 같은지를 검정해야 한다. 두 표본의 모집단이 동일한 정규모집단이라는 결론을 얻었을 때, 기존 자료와 새로운 자료를 통합하여 하나의 확률표본으로 구성할 수 있고 이 통합된 표본을 기준으로 여러 통계분석을 수행할 수 있는 근거가 된다.

본 연구에서는 기존의 실험자료[1]와 최근에 공개된 일본 JAERI의 실험자료[2]에서 연소도가 30 GWd/tU 이상인 사용후핵연료 실험자료 22개 핵종을 기준으로 두 독립표본의 모집단에 대한 동질성 검정을 수행하였다. 동질성 검정으로는 참고문헌[3]에 제시된 정규성 검정, 등분산에 대한 F 검정 및 동일평균에 대한 T 검정방법을 이용하였다.

## 2. 통계분석의 이론적 배경 및 방법

두 표본의 모집단분포가 동일한 정규분포를 갖는지를 검정하기 위해서는 참고문헌[3]에 제시한 정규성 검정을 수행한 후 정규모집단의 분산과 평균에 대한 동일성 검정을 위해 F 검정과 T검정을 수행해야 한다. 정규성 검정방법과 이상치 제거방법에 대한 이론적 배경은 참고문헌[3]에 제시되어 있다. 본 연구에서는 주요 통계패키지에서 제시되는 정규성 검정, 정규분포 동일분산 및 동일평균 검정에 대한 이론적인 특성을 분석하여 기술하였다.

### 가. Shapiro-Wilk W 검정방법

표본의 모집단 분포함수가 정규분포인지를 검정하는 방법으로 Shapiro-Wilk W는 소표본에 주로 이용되는 방법이다. Shapiro-Wilk W는 정규분포를 갖는 표본을 기준으로 개발된 통계량이다. 정규분포에서 추출한 확률표본의 값은 평균과 분산에 의해 표준화된 값과 직선관계를 보이고 이를 회귀분석하는 과정에서 다음과 같은 W통계량을 개발하였다.

$$W = \frac{(a'Y)^2}{S^2} = \left( \sum_{i=1}^n a_i Y_i \right)^2 / \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (1)$$

식(1)에서  $a'$  표준화계수로 Shapiro-Wilk[4]에 계산된 값이고,  $S^2 = \sum (Y_i - \bar{Y})^2$ 는 편차제곱합이다. 식(1)의 W 통계량은 정규분포 분산에 대한 불편추정량들의 비로 이루어졌고, 특히 W는 회귀분석에서의 결정계수(determinant coefficient)  $R^2$ 와 비슷한 성질을 가지고 있다. W는  $R^2$ 와 마찬가지로 0과 1사이의 값을 가질 수 있고, 표본크기가 커지면  $R^2$ 로 근사함을 보였다[5]. W는 1에 가까운 값을 가질수록 표본의 모집단은 정규분포일 가능성이 커진다. W는 표본크기  $n$ 에 의존하는 확률변수이고  $n$ 에 대한 W의 일반적인 분포함수는 정의할 수 없다. W의 경험적 확률분포표는 Shapiro-Wilk[4]에 제시되어 있다. W의  $n$ 에 대한 경험적 확률분포표를 중심으로 표본에서 계산된 식(1)의 W 통계량 값이 W 확률분포상의 하위 유의수준 안에 포함되면 주어진 표본은 정규분포를 모집단으로 갖는다고 할 충분한 근거가 없다. 즉, 표본의 W값이 W 분포상의 유의수준 안에 포함되면 정규성을 만족하지 못하고 유의수준을 벗어나면 정규성을 만족한다고 할 수 있다.

### 나. F 검정방법

두 정규분포의 동일분산을 검정하는 방법으로 F 검정이 있다. 각 정규분포에서 추출한 크기가  $\nu_1 + 1$ ,  $\nu_2 + 1$ 인 독립표본의 표본분산  $S_1^2$ ,  $S_2^2$ 과 정규모집단 분산  $\sigma_1^2$ ,  $\sigma_2^2$ 을 기준으로 Chi-square 통계량  $\chi^2_{\nu_1} = \frac{\nu_1 S_1^2}{\sigma_1^2}$  과  $\chi^2_{\nu_2} = \frac{\nu_2 S_2^2}{\sigma_2^2}$  이 정의된다. 서로 독립인 Chi-square 통계량을 각각의 자유도로 나눈 후 비(ratio)를 취하면 다음과 같은 통계량이 정의된다.

$$X = \frac{\chi^2_{\nu_1}/\nu_1}{\chi^2_{\nu_2}/\nu_2} = \frac{S_1^2/\sigma_1^2}{S_2^2/\sigma_2^2} \quad (2)$$

식(2)의 통계량  $X$ 는 다음과 같은 분포함수를 갖는  $\nu_1, \nu_2$ 을 자유도로 갖는 F 분포를 한다[6].

$$F(x | \nu_1, \nu_2) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu_1 + \nu_2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu_1}{2}\right)\Gamma\left(\frac{\nu_2}{2}\right)} \left(\frac{\nu_1}{\nu_2}\right)^{\nu_1/2} \frac{x^{\nu_1/2-1}}{[1 + (\nu_1/\nu_2)x]^{(\nu_1 + \nu_2)/2}}, \quad 0 < x < \infty \quad (3)$$

두 정규분포의 분산이 동일분산일 때 즉,  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ 이면 식(2)의 통계량은 단순히 표본분산들의 비로 표현되며 이 통계량은 F 분포를 갖는다는 것을 알 수 있다. 그러므로 정규모집단의 동일분산에 대한 검정은 식(3)의 분포함수를 갖는 식(2)의 통계량을 기준으로 수행되어진다.

표본에서 계산된 식(2)의 통계량 값이 등분산 가정하의 식(4)의 확률분포상의 유의수준 안에 포함되면 등분산을 기각하고 유의수준 범위를 벗어나면 등분산을 만족하는 것으로 알 수 있다.

#### 다. T 검정방법

두 정규분포의 분산이 등분산일 경우 최종적으로 평균마저 동일하다면 두 표본은 동일 정규모집단을 갖는 것임을 알 수 있다. 등분산이 성립되지 않는 경우에 두 표본 모집단의 동일평균에 대한 검정을 근사적으로 수행할 수 있다. 두 정규모집단의 분산이 등분산인 경우와 이분산인 경우에 동일평균을 검정하는 방법은 다음과 같다.

##### 1) 등분산일 경우

식(2) 통계량과 이 통계량의 분포함수 식(3)으로부터 등분산이 성립하면 두 정규모집단의 공통분산은 두 표본을 혼합해서 다음과 같은 식으로 추정한다.

$$S^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (4)$$

식(4)를 이용해 두 정규모집단의 동일평균 하에서 다음과 같은 통계량이 정의된다[6].

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (5)$$

식(5)의  $T$  통계량은 다음과 같은 확률분포함수를 갖는 자유도가  $\nu (= n_1 + n_2 - 2)$ 인  $T$  분포를 따른다.

$$T(t | \nu) = \frac{\Gamma((\nu + 1)/2)}{\Gamma(\nu/2)} \frac{1}{(\nu\pi)^{1/2}} \frac{1}{(1 + t^2/\nu)^{(\nu + 1)/2}}, \quad -\infty < t < \infty \quad (6)$$

두 정규모집단의 동일 평균에 대한 통계량  $T$ 를 이용해 표본이 갖는  $T$ 의 값이 식(6)의 유의수준 범위 안에 포함되면 동일평균을 기각하고 유의수준 범위를 벗어나면 동일평균을 채택하게 된다.

##### 2) 이분산인 경우

두 정규분포의 분산이 등분산을 만족하지 않을 경우 두 평균에 대한 동일성 검정을 근사적으로 수행할 수 있다. 등분산이 성립되지 않으므로 각각의 분산을 별도로 추정한 추정량을 이용하여 식(5)와 비슷한 유형의 통계량을 다음과 같이 정의한다[7].

$$T^* = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (7)$$

식(7)는 Satterthwaite의 자유도[8]를 갖는 근사적인 T분포를 따른다. 따라서 등분산이 성립되지 않는 경우 두 정규모집단의 평균에 대한 동일성 검정을 통계량 (9)식을 기초로 수행할 수 있다.

### 3. 통계분석결과

기존자료와 새로운 자료에서 연소도가 30 GWd/tU 이상인 사용후핵연료에서 추출된 22개 핵종에 대한 두 집단의 동질성 검정을 수행하였다. 정규성 검정방법은 Shapiro-Wilk W, Lilliefors D, Cramer-von Mises  $W^2$  및 Anderson-Darling  $A^2$  검정을 수행하였고, 등분산성 검정에는 F 검정을, 동일평균에 대한 검정에는 T 검정을 수행하였다.

#### 가. 실험자료

사용후핵연료내 핵종량에 대한 기존자료[1]는 55개 표본으로 구성되었으며 그 중 38개 핵종에 대한 분석이 주로 이루어졌다. 요즘은 연소도가 30 GWd/tU 이상인 사용후핵연료내 핵종량에 대한 연구가 주로 이루어지고 있다. 최근 2000년 10월에 일본 JAERI에서 발표한 실험자료[2]는 대부분 연소도가 30 GWd/tU 이상인 사용후핵연료내 핵종량 자료를 포함하고 있어 이 실험자료에 대한 통계적 분석을 토대로 사용후핵연료내 핵종량에 대한 연구를 확장할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 기존자료와 일본자료 중 연소도가 30 GWd/tU 이상인 사용후핵연료에 속한 22개 핵종을 기준으로 두 자료를 통합 가능하도록 두 자료의 모집단에 대한 동질성 검정을 수행하였다. 두 집단에서 이상치 제거후의 자료에 대한 평균 및 표준편차를 Table 1에 제시하였다. 분석에 사용된 자료는 두 집단의 사용후핵연료내 핵종량 실험값 대비 계산값의 비율이다.

#### 나. 정규성 검정결과

기존자료와 일본자료의 모집단분포가 정규분포인지를 검정하기 위하여 Shapiro-Wilk W 방법 외 3가지 방법을 적용하였다. 이상치를 제거한 이상적인 표본에 대한 정규성 검정결과를 Table 2에 제시하였다. 두 표본의 정규성에 대한 판정은 다른 방법에 비해 Shapiro-Wilk W가 소표본에서 정규성 만족정도를 잘 표현하므로 이 검정결과를 기준으로 결정하였고 그 외 3가지 검정결과는 W의 결과와 비교하기 위하여 참고로 제시하였다. Shapiro-Wilk W 검정결과, 유의수준 5 %에서 기존자료의 U-238과 Nd-148만을 제외한 모든 핵종이 정규성을 만족하는 것으로 나타났다. U-238은 W에서 p값이 3.65%로 관측되어 유의수준을 이 p값 이하로 낮춘다면 정규성을 만족시킬 수 있을 것이다. U-234는 두 자료 모두에서 W를 제외한 나머지 3 가지 검정결과, 낮은 p값을 보였다. 기존자료의 Pu-238과 Pu-241은 5 % 유의수준에서 정규성을 만족하지만 기존자료분석에서 비대칭적으로 치우침을 보이는 것으로 사료되었다. 핵종의 중요성으로 볼 때 자료에 대해 정밀분석하여 정규성 크게 만족될 수 있도록 해야 할 것이다. 또한 U-234와 Pu-241은 W에 비해 D의 결과에서 정규성 만족정도가 작게 관측되었다.

#### 다. 등분산성 검정결과

기존자료와 일본자료의 정규성이 만족되어 각각의 분산이 등분산인지를 검정하기 위하여 F 검정을 수행하여 그 결과를 Table 2에 제시하였다. 각 핵종의 기존자료와 일본자료의 F 검정결과, 유의수준 5 %에서 U-236, U-238, Pu-242, Cs-134, Cs-137 및 Sm-149을 제외한 기타 핵종은 등분산을 만족하는 것으로 나타났다. 분석대상인 두 자료의 사용후핵연료내 핵종량의 분포가 본질적으로 비대칭적인 분포성향을 갖는 핵종들에 대해서는 등분산성을 만족시키는데 어려움이 있었다.

#### 라. 동일평균 검정결과

정규성 및 등분산성을 검정한 후 최종적으로 동일모집단임을 보이기 위하여 두 표본의 평

균 및 분산을 기준으로 동일평균에 대한 T 검정을 수행하였다. 앞서 정규성 검정결과 기존자료와 일본자료에서 U-238와 Nd-148만 제외한 모든 핵종이 정규성을 만족하는 것으로 나타났고, 등분산성 검정결과 일부 핵종을 제외한 기타 핵종들이 등분산성을 만족하는 것으로 나타났다. 등분산성을 만족하는 핵종에 대해서는 고전적인 T검정방법을, 등분산성을 만족하지 않는 핵종에 대해서는 Satterthwaite의 자유도를 이용한 T검정방법을 적용하여 그 결과를 Table 3에 제시하였고 Table 1의 결과를 Fig. 1로 도표화하였다. Fig. 1과 Table 3에서 볼 수 있듯이 동일 유의수준에서 U-235, U-238, Pu-240, Pu-241, Pu-242, Cs-134, Nd-144, Sm-148 및 Sm-149가 동일평균을 갖는 것으로 나타났다. 반면에 정규성과 등분산성은 만족하지만 동일평균을 만족하지 않는 핵종에는 U-234, Np-237, Pu-238, Pu-239, Am-241, Nd-143, Nd-145, Nd-146, 및 Nd-150이었다.

#### 마. 동질성 핵종

정규성, 등분산성, 동일평균을 모두 만족하는 핵종에는 Table 1 - Table 3에 볼 수 있듯이 U-235, Pu-240, Pu-241, Cs-134, Nd-144 및 Sm-148로 나타났다. Fig. 2-Fig. 4는 동질성 검정의 3가지 검정결과를 만족하는 U-235에 대한 히스토그램(histogram)과 이를 기준한 정규곡선(normal curve)이다. Fig. 2와 Fig. 3은 기존자료와 일본자료의 히스토그램으로 일본자료에서 표본의 수가 작긴 하지만 두 자료 모두 정규곡선으로 표현될 수 있는 것으로 생각할 수 있다. 또한 두 그림의 중심부분과 분산을 살펴보면 거의 동일한 값을 갖는 것으로 알 수 있다. Fig. 4는 U-235에 대한 3가지 검정결과 두 자료가 동질집단이라는 결론을 내릴 수 있으므로 기존자료와 일본자료를 통합하여 도표화하였다. 자료 수의 보강으로 Fig. 2와 Fig. 3의 결과보다 더욱 그럴듯하게 정규곡선으로 표현되는 것을 알 수 있다. U-235 이외에 동질집단으로 판정된 핵종들은 하나의 동일표본으로 통합될 있는 통계적 근거를 제시할 수 있다.

#### 4. 결론 및 향후계획

연소도가 30 GWd/tU 이상인 사용후핵연료내 22개 핵종의 핵종량에 대한 기존자료와 일본자료를 단일확률표본으로 통합하기 위하여 정규성, 등분산성, 동일평균에 대한 검정을 수행함으로써 두 표본의 모집단에 대한 동질성 검정을 수행하였다. 그 결과 6개의 핵종이 서로 동일한 정규모집단을 갖는 것으로 나타났다. 추후 단일표본으로 통합 가능한 6개 핵종에 대한 보정인자를 계산하여 기존자료에 대한 보정인자와 비교해야 할 것이다. 본 연구에서는 표본이 두 개인 경우의 모집단에 대한 동질성 검정을 다루었으나 앞으로는 좀더 세부화된 표본이 3개 이상인 경우의 모집단에 대한 동질성 검정을 수행하는 방법에 대하여 연구할 계획이다.

본연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 사용후핵연료특성계량화 기술개발과제에서 수행한 것임.

#### 참 고 문 헌

- [1] 박성원외, “사용후핵연료 관리·이용 기술개발” 한국원자력연구소 보고서 KEARI / RR-2132/2000 (2000).
- [2] Yoshinori, Nakahara, Technical development on burnup credit for Spent LWR Fuels, JAERI/TR-2001-01 (2001).
- [3] 이윤희외, “가압경수로 사용후핵연료내 핵종량의 보정인자 결정을 위한 정규성 검정”, 한국원

자력학회 추계학술발표회 논문집(2001).

- [4] Shapiro, S. S. and Wilk, M. B., "An analysis of variance test for normality(complete samples)," *Biometrika* 52, 591-611 (1965).
- [5] Ralph B. D'Agostino and Michael A. Stephens, *Goodness-of-fit techniques*, Marcel Dekker, INC. New York and Basel (1986).
- [6] Ronald E. Walpole and Raymond H. Myers(1993). *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*.
- [7] George Casella and Roger L. Berger., *Statistical Inference*, Duxbury Press(1990).
- [8] Satterthwaite, F. E.(1946). An Approximate Distribution of Estimates of Variance Components. *Biometrics* 2, 110-114.

Table 1. Sample mean and Standard Deviation for the previous and JAERI data.

Isotope	Previous Data			JAERI Data		
	Sample size (Outliers)	Mean	Standard Deviation	Sample size (Outliers)	Mean	Standard Deviation
U-234	18(1)	0.9887	0.0896	8	0.8961	0.0946
U-235	21	1.059	0.037	8	1.031	0.022
U-236	21	0.9813	0.0229	8	1.0101	0.0038
U-238	20(1)	1.0007	0.0041	7	0.9988	0.0006
Np-237	7	0.8884	0.0481	5	1.0946	0.0190
Pu-238	21	1.0614	0.0717	8	1.1888	0.0666
Pu-239	17(4)	0.9885	0.0314	8	1.076	0.0456
Pu-240	21	1.0300	0.0224	8	1.0292	0.0229
Pu-241	21	1.0452	0.0700	8	1.0657	0.0402
Pu-242	20	0.9668	0.0503	8	0.9895	0.0142
Am-241	5(1)	1.1174	0.0703	7(1)	0.9138	0.0610
Cs-134	2	1.1875	0.0586	6(2)	1.2338	0.0111
Cs-137	7	0.9917	0.0168	8	1.0147	0.0050
Nd-143	2	0.9995	0.0035	8	1.0266	0.0111
Nd-144	2	0.9945	0.0035	8	1.0141	0.0240
Nd-145	2	1.0050	0.0014	8	0.9940	0.0042
Nd-146	2	0.9875	0.0007	8	1.0062	1.0080
Nd-148	7	0.9874	0.0062	8	1.0128	0.0042
Nd-150	2	0.9625	0.0049	7	1.0145	0.0098
Sm-148	2	1.1965	0.0374	5	1.2408	0.0295
Sm-149	2	1.6730	0.4171	5	1.5210	0.0639
Sm-150	2	1.0125	0.0685	5	0.9328	0.0070

Table 2. Results of Normality and Constant Variance Tests.

Isotope	Normality test								Constant variance test	
	Previous Data				JAERI Data					
	W	D	W <sup>2</sup>	A <sup>2</sup>	W	D	W <sup>2</sup>	A <sup>2</sup>	F	p-value
U-234	0.2035	0.0389	0.0389	0.0644	0.2095	0.0988	0.0851	0.1089	<b>1.11</b>	<b>0.7976</b>
U-235	0.6708	0.1500	0.2500	0.2500	0.9862	0.1500	0.2500	0.2500	2.86	0.1593
U-236	0.1756	0.1500	0.2500	0.2500	0.2020	0.0935	0.0987	0.1319	<b>36.06</b>	<b>&lt;.0001</b>
U-238	0.0365	0.0112	0.0246	0.0244	0.0995	0.0624	0.0377	0.0495	35.83	0.0002
Np-237	0.1065	0.1388	0.1205	0.1100	0.1255	0.1500	0.1350	0.1128	<b>6.40</b>	<b>0.0938</b>
Pu-238	0.0736	0.0536	0.0508	0.0495	0.2648	0.1500	0.2500	0.2500	<b>1.16</b>	<b>0.8941</b>
Pu-239	0.7809	0.1500	0.2500	0.2500	0.9611	0.1500	0.2500	0.2500	2.11	0.2061
Pu-240	0.2737	0.1500	0.2500	0.2454	0.6682	0.1500	0.2500	0.2500	<b>1.04</b>	<b>0.8723</b>
Pu-241	0.0610	0.0268	0.0664	0.0675	0.4016	0.1500	0.2500	0.2500	3.03	0.1380
Pu-242	<b>0.3739</b>	<b>0.1500</b>	0.2500	0.2500	0.6894	<b>0.1500</b>	<b>0.2500</b>	<b>0.2500</b>	<b>12.41</b>	<b>0.0023</b>
Am-241	<b>0.7789</b>	<b>0.1500</b>	0.2500	0.2500	<b>0.0954</b>	<b>0.0954</b>	<b>0.2159</b>	<b>0.1389</b>	<b>1.32</b>	<b>0.7207</b>
Cs-134	1.0000	0.1500	0.2500	0.2332	0.0704	0.1500	0.1076	0.0814	27.92	0.0065
Cs-137	0.5432	0.1500	0.2500	0.2500	0.4230	0.1500	0.2500	0.2500	10.92	0.0059
Nd-143	<b>1.0000</b>	0.1500	0.2500	<b>0.2332</b>	<b>0.8413</b>	0.1500	0.2500	0.2500	<b>9.92</b>	<b>0.4798</b>
Nd-144	<b>1.0000</b>	0.1500	0.2500	<b>0.2332</b>	<b>0.3513</b>	0.1500	0.2500	0.2500	<b>46.09</b>	<b>0.2259</b>
Nd-145	<b>1.0000</b>	0.1500	0.2500	<b>0.2332</b>	<b>0.0552</b>	<b>0.1083</b>	<b>0.0893</b>	<b>0.0676</b>	9.0	<b>0.5027</b>
Nd-146	<b>1.0000</b>	0.1500	0.2500	<b>0.2332</b>	<b>0.3864</b>	0.1500	0.2500	0.2500	<b>97.00</b>	<b>0.1561</b>
Nd-148	<b>0.0038</b>	<b>0.0100</b>	<b>0.0050</b>	<b>0.0050</b>	<b>0.8570</b>	0.1500	0.2500	0.2500	<b>2.18</b>	<b>0.3303</b>
Nd-150	<b>1.0000</b>	0.1500	0.2500	<b>0.2332</b>	<b>0.3315</b>	<b>0.1500</b>	<b>0.2238</b>	<b>0.2500</b>	<b>3.94</b>	<b>0.7350</b>
Sm-148	<b>1.0000</b>	0.1500	0.2500	<b>0.2332</b>	<b>0.3497</b>	0.1500	0.2500	0.2500	1.61	0.5477
Sm-149	<b>1.0000</b>	0.1500	0.2500	<b>0.2332</b>	<b>0.1971</b>	<b>0.1500</b>	<b>0.2266</b>	<b>0.1890</b>	42.25	0.0057
Sm-150	<b>1.0000</b>	0.1500	0.2500	<b>0.2332</b>	<b>0.2423</b>	0.1500	0.2500	<b>0.2178</b>	5.24	0.6305



Table 3. Results of Equal Mean Tests.

Isotope	degree of freedom	T	p-value
U-234	24	<b>-2.39</b>	<b>0.0249</b>
U-235	27	-1.94	0.0629
U-236	<b>22.7</b>	<b>5.60</b>	<b>&lt;.0001</b>
U-238*	21.7	-1.92	0.0681
Np-237	10	<b>8.98</b>	<b>&lt;.0001</b>
Pu-238	27	<b>4.35</b>	<b>0.0002</b>
Pu-239	23	5.60	<0.001
Pu-240	27	<b>-0.09</b>	<b>0.9289</b>
Pu-241	27	0.77	0.4461
Pu-242*	24.7	<b>1.84</b>	<b>0.0779</b>
Am-241	10	<b>-5.35</b>	<b>0.0003</b>
Cs-134*	1.02	1.11	0.4635
Cs-137*	6.96	3.48	0.0103
Nd-143	8	<b>3.27</b>	<b>0.0113</b>
Nd-144	8	1.10	<b>0.3017</b>
Nd-145	8	<b>-3.48</b>	<b>0.0083</b>
Nd-146	8	<b>3.64</b>	<b>0.0066</b>
Nd-148	13	<b>9.36</b>	<b>&lt;.0001</b>
Nd-150	7	<b>6.99</b>	<b>0.0002</b>
Sm-148	5	1.69	0.1517
Sm-149*	1.01	<b>-1.64</b>	0.3471
Sm-150	5	6.12	0.0017

\* is approximated T-distribution.

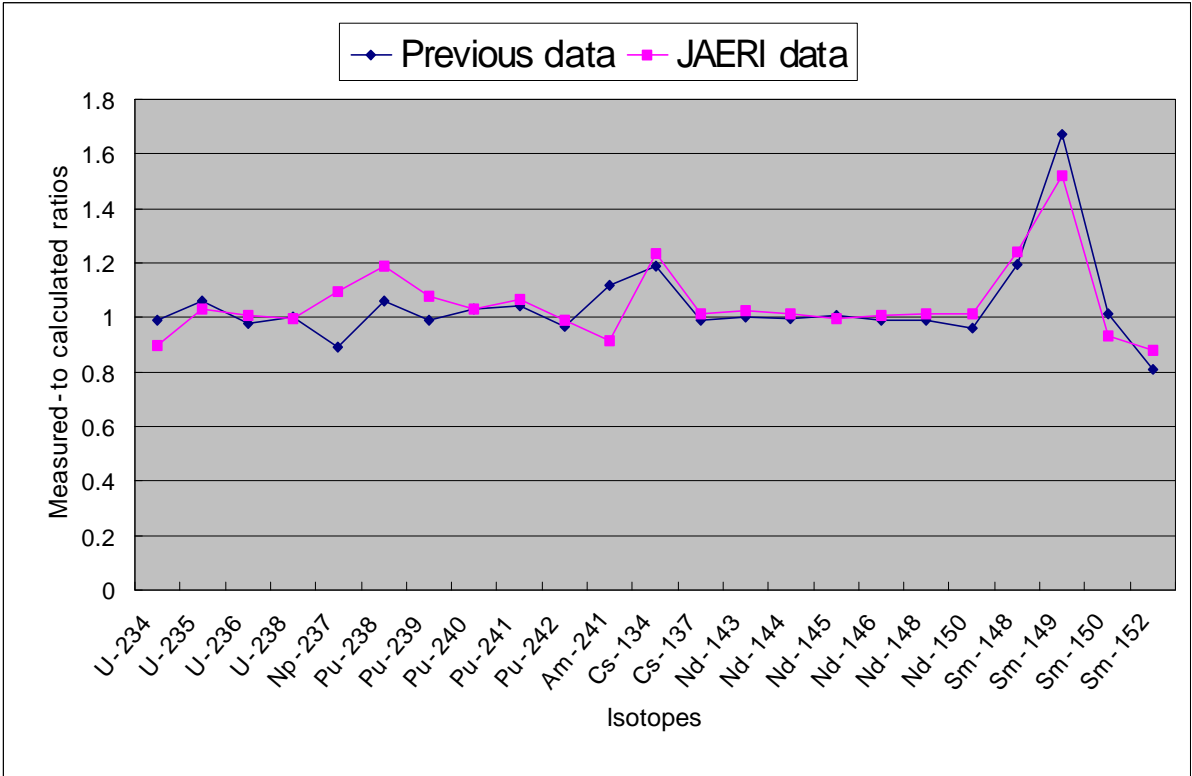


Fig. 1. Measured-to-Calculated Ratio of Isotopes.

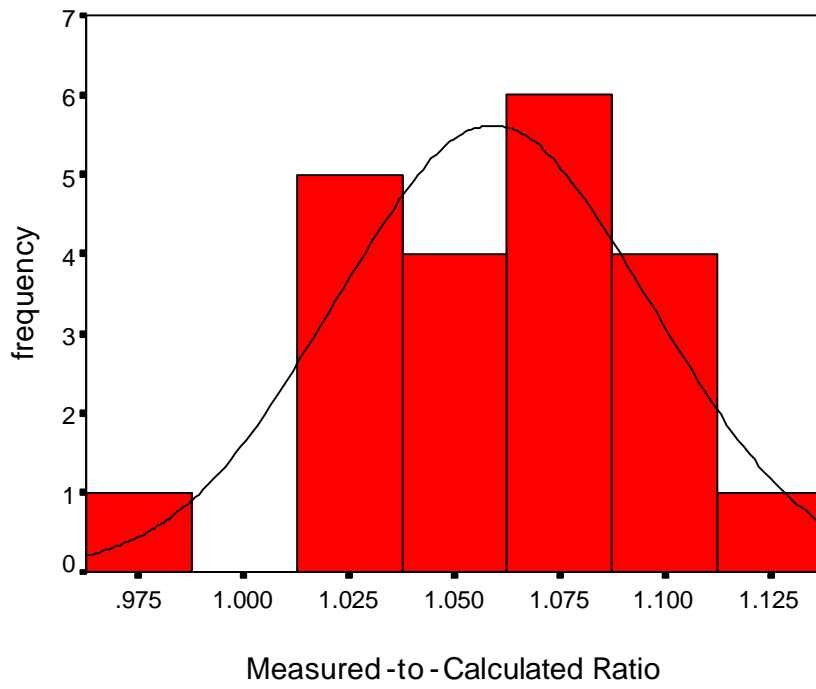


Fig. 2. Histogram and Normal Curve Fitting of U-235 which is one of previous data.

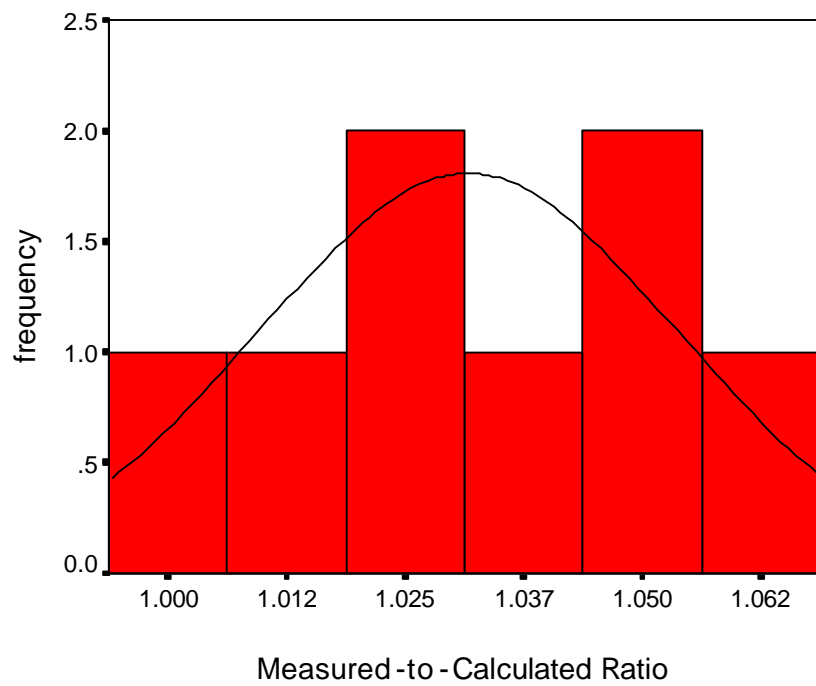


Fig. 3. Histogram and Normal Curve Fitting of U-235 which is one of JAERI data.

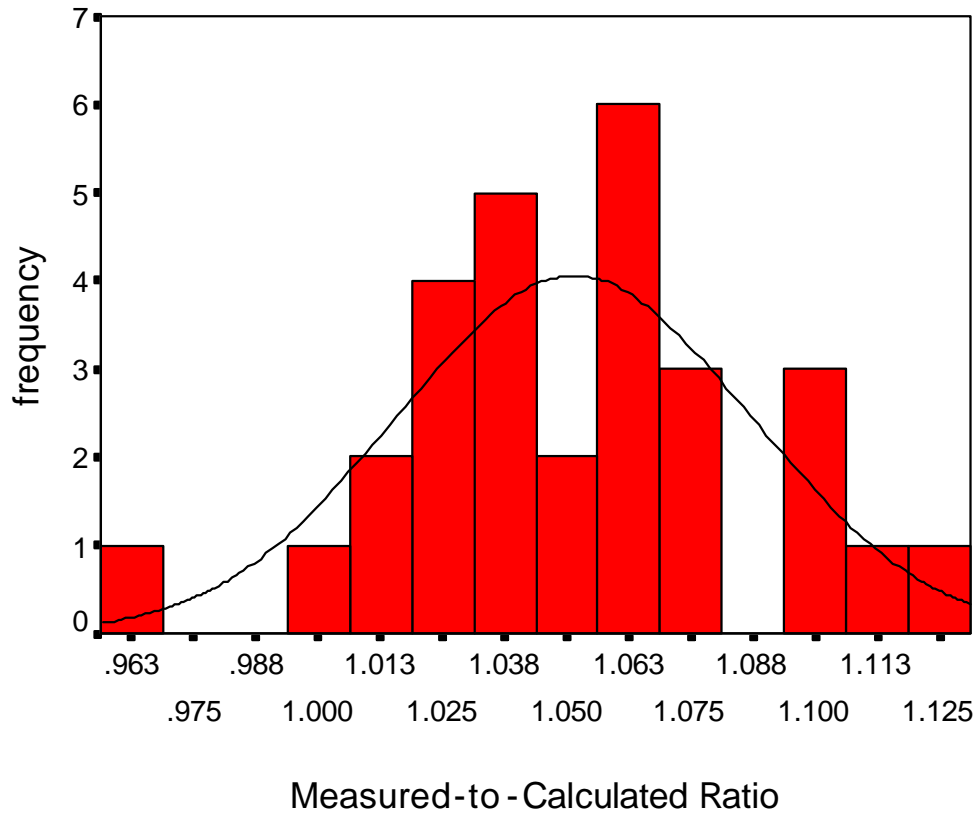


Fig. 4. Histogram and Normal Curve Fitting of U-235 by combining both Previous and JAERI data