

APR1400 RVI CVAP 측정시스템의 측정 불확도 해석

Measurement Uncertainty Analysis of the Measurement System for APR1400 RVI CVAP

이준호†·홍훈빈*·김재홍*·고도영**

Jun-Ho Lee, Hoonbin Hong, Jae-Hong Kim and Do-Young Ko

1. 서 론

원자로 내부구조물 종합진동평가 프로그램(reactor vessel internals comprehensive vibration assessment program, RVI CVAP)은 유동에 의해 발생하는 진동(flow-induced vibration)에 대하여 원자로가 구조적인 안전성을 확보하고 있는지 검증하기 위한 목적으로 수행된다. RVI CVAP 측정은 원자로 내부구조물에 센서를 설치하고 유동에 의해 발생하는 진동을 실제로 측정하여 원자로의 안전성을 평가하게 된다. APR1400 (advanced power reactor 1400) RVI CVAP 측정에서는 가속도, 압력 및 변형률을 측정하기 위한 센서가 사용되며⁽¹⁾, 신호처리를 위한 측정시스템의 신뢰성을 확보하는 것은 중요한 부분이다. 이를 위해 APR1400 RVI CVAP 측정에 사용되는 측정시스템의 불확도 해석(uncertainty analysis)을 통해 측정데이터의 신뢰성에 대한 정량적인 값을 제시한다.

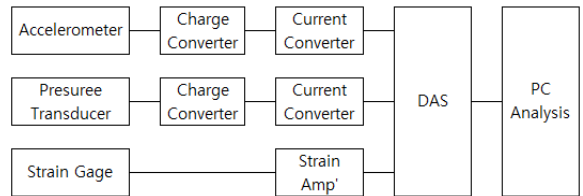


Fig.1 Schematic diagram of the measurement system for RVI CVAP

이루고 있으므로, 가속도/압력 측정시스템과 변형률 측정시스템에 대한 불확도 해석을 수행한다. 불확도 해석은 각 측정기기의 불확도 요인을 구하고 “제곱합제곱근(square root of the sum of the squares, SRSS)” 방법을 이용해 측정시스템에 대한 불확도를 계산한다⁽²⁾. 이는 다음과 같이 정리할 수 있다. 임의의 측정시스템을 구성하는 N개의 측정기기가 갖는 불확도를 각각 $U_1, U_2, U_3, \dots, U_N$ 이라고 하면, 전체 측정시스템의 측정불확도(U_m)는 다음과 같이 제곱합제곱근 방법으로 구할 수 있다.

$$U_m = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_N^2} \quad (1)$$

2. RVI CVAP 측정시스템의 불확도 해석

RVI CVAP 측정시스템은 센서로부터 신호변환기와 변형률증폭기를 거쳐 데이터취득장치까지 연결된 일련의 루프를 이루고 있으나, 본 논문에서는 센서를 제외한 신호변환기와 변형률 증폭기를 포함한 데이터 취득장치를 불확도 해석의 주요 대상으로 소개한다. 측정시스템의 구성은 Fig.1에 나타난 바와 같이 가속도와 압력 측정시스템은 동일한 구성을

2.1 가속도/압력 측정시스템

가속도/압력 측정시스템은 센서(CA952 & CP103, Vibro-Meter) 신호(전하)를 전압신호로 변환하기 위해 두 단계의 신호변환기를 사용한다. 전하신호를 전류신호로 변환하기 위한 전하변환기와 전류신호를 전압신호로 변환하기 위한 전류변환기로 구성되며, 전압신호는 데이터취득장치로 전달되어 저장된다 (Table 1 참조).

측정기기의 불확도 요인은 다음과 같이 정리할 수 있다.

† 교신저자; 정회원, (주)우진
 E-mail : juno2001@woojininc.com
 Tel : (031)379-3272, Fax : (031)379-3132
 * (주)우진
 ** 한수원 중앙연구원

Table 1 Measurement equipment list for RVI CVAP

Equipment (model)	Primary function	Manufacturer
Charge converter	Charge to current conversion	Vibro-meter
Current converter	Current to voltage conversion	Vibro-meter
Strain Amp'	Amplification of strain (voltage)	Kyowa
DAS	Data acquisition (A/D conversion)	Yokogawa

※ Refer to (3)~(6) for further information.

전하변환기: 전하를 전류로 변환하는 과정에서 발생하는 비선형성(Nonlinearity)와 온도변화(본 불확도 해석에서는 온도변화 정도를 10℃로 예상)에 의한 영향 등을 고려하여 다음과 같이 불확도(U_{IPC})를 정리할 수 있다⁽³⁾.

- ① Nonlinearity: 0.2%
 - ② Transfer error (pC to mA): 1.0%
 - ③ Temperature stability: 0.1%
- $$U_{IPC} = \sqrt{0.2^2 + 1.0^2 + 0.1^2} = 1.025\% \quad (2)$$

전류변환기: 전류를 전압으로 변환하는 과정의 불확도 요인을 고려한다⁽⁴⁾.

- ① Nonlinearity: 0.2%
 - ② Temperature offset drift: 0.2%
 - ③ Temperature stability: 0.1%
- $$U_{GSI} = \sqrt{0.2^2 + 0.2^2 + 0.1^2} = 0.300\% \quad (3)$$

데이터취득장치: 신호변환기(전하 및 전류 변환기)와 변형률증폭기로부터 입력되는 전압신호를 A/D 변환 과정을 거쳐 저장하는 역할을 한다. 이 과정에서 측정범위 설정($\pm 20V$)에 따라 다음과 같은 불확도를 갖게 된다⁽⁵⁾.

- ① Accuracy: 0.12%
 - ② Temperature stability: 0.08%
 - ③ Trigger level accuracy: 2.0%
- $$U_{DAS} = \sqrt{0.12^2 + 0.08^2 + 2.0^2} = 2.005\% \quad (4)$$

따라서, 가속도/압력 측정시스템의 불확도는 위 식 (2)~(4)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$U_{A/P} = \sqrt{1.025^2 + 0.3^2 + 2.005^2} = 2.272\% \quad (5)$$

2.2 변형률 측정시스템

구조물의 변형에 의한 변형률계의 저항은 윗스톤 브릿지 (wheatstone bridge)와 변형률 증폭기를 거쳐 데이터취득장치가 측정할 수 있는 크기의 전압신호로 증폭된다.

변형률증폭기: 온도, 측정시간, 증폭비율 등을 포함하여 다음과 같은 여러 불확도 요인을 고려한다⁽⁶⁾.

- ① Balance adjustment range(resistance): 2.0%
- ② Balance adjustment accuracy: 0.5%
- ③ Nonlinearity: 0.2%
- ④ Standard equivalent strain accuracy: 0.75%
- ⑤ Sensitivity adjuster (range): 0.5%
- ⑥ Sensitivity temperature stability: 0.5%
- ⑦ Sensitivity time stability: 0.3%
- ⑧ Zero temperature stability: 0.5%
- ⑨ Zero time stability: 0.5%

$$U_{DPM} = \sqrt{2.0^2 + 0.5^2 + 0.2^2 + 0.75^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 0.3^2 + 0.5^2 + 0.5^2} = 2.438\% \quad (6)$$

데이터취득장치: 식 (4)에 의해 2.005%의 불확도를 갖는다.

따라서, 변형률 측정시스템의 불확도는 식 (4)와 식 (6)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$U_{strain} = \sqrt{2.005^2 + 2.438^2} = 3.157\% \quad (7)$$

3. 결 론

RVI CVAP 측정은 유동에 의해 발생하는 진동에 대하여 원자로 내부구조물이 갖는 구조적 건전성을 평가하기 위해 수행되므로, 측정결과에 대하여 높은 신뢰성을 요구한다. 본 논문에서는 RVI CVAP 측정시스템에 대한 불확도 해석을 통해 RVI CVAP 측정 및 데이터 분석 결과에 대한 신뢰성을 정량적으로 평가할 수 있는 근거를 제시하였다.

참 고 문 헌

- (1) Ko, D.Y. and Lee, J.G., 2011, A Review of Measuring Sensors for Reactor Vessel Internals

Comprehensive Vibration Assessment Program in Advanced Power Reactor 1400, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 21, No. 1, pp. 47-55.

(2) The American Society of Mechanical Engineers, 2005, Test Uncertainty, ASME PTC 19.1-2005.

(3) Vibro-Meter, 2012, Data sheet: Signal conditioner IPC704, 262-710.

(4) Vibro-Meter, 2012, Data sheet: Galvanic separation unit GSI124, 262-865.

(5) Yokogawa, 2012, User's manual: 8-CH, 100kS/s Isolated digitizer module WE7273, IM707273-01E.

(6) Kyowa, 2004, Multi-conditioner MCD-8A/16A Instruction manual, IM-A-503C.