

# 방사선 검출신호의 시계열 분석에 관한 연구

## A Study on Time Series Analysis for the Detector Pulses of Radiation

°홍 석 봉\*, 정 중 은\*\*, 김 용 균\*\*\*, 문 병 수\*\*\*\*, 권 기 호\*\*\*\*\*

- \* 한국원자력연구소 MMIS팀(Tel : 042-868-2568; Fax : 042-868-2897 ; E-mail:boong@nanum.kaeri.re.kr)
- \*\* 한국원자력연구소 MMIS팀(Tel : 042-868-2545; Fax : 042-868-2897 ; E-mail:cechung@nanum.kaeri.re.kr)
- \*\*\* 한국원자력연구소 MMIS팀(Tel : 042-868-8237; Fax : 042-868-2897 ; E-mail:ykkim4@nanum.kaeri.re.kr)
- \*\*\*\* 한국원자력연구소 MMIS팀(Tel : 042-868-2980; Fax : 042-868-2897 ; E-mail:mailbmoon@nanum.kaeri.re.kr)
- \*\*\*\*\* 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부(Tel : 031-290-7111; Fax : 031-290-7197 ; E-mail:khkwon@skku.ac.kr)

**Abstract** : The analysis of the radiation effect on matter has been performed using stochastic methods. Recently, It was discovered that the detector pulses of radiation can be analysed using deterministic method that utilizes the chaotic behaviour with an attractor found in a noise region. We acquired a time series for pulse train of Am-241 using scintillation detector and reconstructed a phase space, then performed new analysis for the radiation detection signal by applying embedding theory, Lyapunov exponent, correlation dimension, autocorrelation dimension, and power spectrum.

**Keywords** : Chaos, time series, embedding, Lyapunov, radiation

### 1. 서론

방사선검출기를 통하여 검출된 방사선 신호는 두 가지 종류로 나눌 수 있는데 하나는 방사선의 세기를 나타내는 펄스의 양, 즉 펄스의 수를 측정하기 위한 펄스열 신호와 다른 하나는 방사선원의 고유 에너지를 포함하고 있는 펄스높이신호이다. 이 신호들은 기존의 양자역학에 의한 확률론적 방법에 의해 해석이 시도되어 왔으며 따라서 결과론적인 총량에너지로서의 정량분석을 하여왔다.

최근에는 그동안 해석할 수 없는 영역으로 여겨졌던 잡음에서 일정한 주기를 갖고 있는 카오스가 발견됨에 따라 잡음에 대한 해석도 새롭게 시도되고 있다. 본 논문에서는 이러한 새로운 해석의 방법에 따라 방사선 검출기를 통하여 얻어진 펄스신호를 분석함으로써 방사선 검출신호의 다양한 응용과 잡음의 적절한 처리에 기여하고자 한다.

본 논문에 사용된 방사선 검출신호는 높은 검출효율을 가지고 있으며 방사선의 세기뿐만 아니라 방사선원에 따른 에너지의 스펙트럼까지 측정할 수 있는 섬광검출기를 사용하여 얻었다. 섬광검출기는 감마선이 섬광체(Scintillator)에 입사해서 결정체와 충돌할 때 발생하는 빛이 광증배관을 통해 나온 전류를 증폭한 신호를 출력하기 때문에 그 특성상 신호가 매우 크며 신호 대 잡음비도 큰 편이다. 사용된 방사선원은 150mCi의 Am-241이며 섬광체는 BGO(Bi<sub>4</sub>Ge<sub>3</sub>O<sub>12</sub>)이고 광증배관과 전치증폭기, 선형증폭기를 거쳐 나온 펄스신호를 대상으로 하였다.

방사선 펄스의 시계열 데이터는 TAR(Time and Amplitude Recorder)라는 NIM(Nuclear Instrument Module)장치를 사용하여 6 μs이상의 간격을 가지는 대부분의 펄스를 취하고 펄스가 발생한 펄스발생시간 데이터와 펄스진폭에 대한 데이터를 각각 분리하여 저장하였다. 본 논문에서는 이 중 펄스발생시간 데이터에서 펄스와 펄스사이의 시간간격( $t_{k-1} - t_k$ )을 다시 시계열로 재구성하여 원시 데이터로 사용하였다.

### 2. 섬광검출기의 모델링

섬광검출기의 기본 구조는 섬광체인 결정과 여기에서 감마선의 충돌에 의해 발생한 광자의 증배를 통해 전류를 증폭하는 광증배관(PMT), 이 광증배관의 출력을 받아 신호의 성형과 후단 구동을 위한 전류증폭의 기능을 하는 전치증폭기로 구성된다.

섬광검출기의 스펙트럼 분석은 광출력에 의한 광봉우리를 만족하게 기술하기 위해 식(1)의 Gaussian 함수를 가정한다.

$$y(x) = y_0 e^{-(x-x_0)^2/b_0} \quad (1)$$

여기서  $y$ 는 펄스의 높이 또는 채널  $x$ 에서 계산된 펄스의 수이며  $x_0$ 는 분포 중앙의 펄스의 높이,  $y_0$ 는  $x_0$ 에서 채널당 카운트 수이며, 피크의 해상도인 FWHM(Full-Width Half Maximum)은  $w_0 = 2(b_0 \ln 2)^{1/2}$ 이다. 이 함수는 모델링에 사용할 검출기의 광봉우리에 대한 정형화를 연구하는데는 적합하지 않으므로 식(2)의 modified-Gaussian 함수를 사용한다.

$$y(x) = y_0 [1 + a_1(x-x_0)^2 + a_2(x-x_0)^4] e^{-(x-x_0)^2/b_0} \quad (2)$$

여기서  $y_0$ ,  $x_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ 는 각 피크에 대해 결정되는 파라미터들이며 비선형, 최소제곱일치프로그램(Least-squares fitting program)을 사용해서 계산한다. 단일 에너지를 갖는 감마선 스펙트럼의 계산에서 사용하기 위하여 함수  $a_1(x_0)$ ,  $a_2(x_0)$ ,  $w_0(x_0)$ 를 식(3), 식(4)의 다항식으로 나타내었다.

$$\log a = a_0 + a_1(\log x_0) + a_2(\log x_0)^2 + a_3(\log x_0)^3 \quad (3)$$

$$w_0 = a_0 + a_1\sqrt{x_0} + a_2(\sqrt{x_0})^2 + \dots \quad (4)$$

광봉우리의 면적은 식(5)와 같다.