

Time Series Analysis of Gamma exposure rates in Gangneung Area

Hohwan Cha, Jaehwa Kim

Department of Physics, Gangneung-Wonju National University

강릉 지역 공간 감마선량률의 시계열 분석

차호환, 김재화

강릉원주대학교 물리학과

Abstract

In this work, we investigate the statistical properties of gamma exposure rates using well-known analysis methods, such as Autocorrelation Function Analysis(ACF), Rescaled Range Analysis(R/S Analysis), and Detrended Fluctuation Analysis(DFA). Especially, DFA is an important method to reliably detect long-range correlations in non-stationary time series. Our data are measured by Gangneung regional radiation monitoring station over the period of 1998 to 2011. First, we find a crossover indicating two different governing regimes in fluctuations of gamma exposure rates. Within a year, they show a strong long-ranged memory while this property vanishes over the range of time period longer than one year. Second, our finding is very securely supported by a variety of analysis tools. Those tools yield many relevant exponents which satisfies the well known relation between them.

Key Words : Fractal, Time series analysis, Gamma exposure rates, ACF, R/S Analysis, DFA

요약

본 논문은 1998년부터 2011년까지 강릉 지역의 지방 방사능 측정소에서 측정된 공간 감마선량률의 통계 적인 성질을 조사하였다. Autocorrelation Function Analysis(ACF), Rescaled Range Analysis(R/S Analysis), Detrended Fluctuation Analysis(DFA)의 방법들이 사용되었으며, 이 중 DFA는 non-stationary한 시계열의 장거리 상관성을 보여주는 좋은 방법으로 알려져 있다. 우리는 이 연구를 통해 다음의 사실을 알았다. 첫 번째, 공간 감마선량률은 두 가지 다른 경향을 갖는 크로스 오버가 나타난다. 이것은 연중 공간 감마선량률은 강한 장기 기억 특성이 나타나는데 비해 연간으로 넘어가면 상관성이 사라지는 것을 의미한다. 두 번째, 각 분석 방법들의 지수들이 있는데 이 지수들 사이의 관계식이 맞음을 확인 하였다.

중심단어 : 프랙탈, 시계열 분석, 공간 감마선량률, ACF, R/S Analysis, DFA

I. 서론

최근까지 시계열 분석은 물리학, 지구 물리학, 생물학, 의학, 생리학, 사회학, 및 공학 등의 분야에서 여러 통계적인 분석법에 의해 다양한 특성들을 검증하고자 하는 연구들이 지속적이며 넓게 이루어져 왔으며, 온도, 강수량, 풍속, 구름, 식생 분포 등의 자연 현상에 관한 연구들은 매우 흥미롭다^[1-5]. 그러나 지금까지 이런 자연 현상에 관한 연구가 매우 많이 이루어졌음에도 불구하고 자연 방사능에 관한 시계열 분석에 대한 연구는 아직까지 많이 이루어지지 않았다. 따라서 시계열 분석법을 자연 방사능 데이터에 적용하여 그 특성들에 관하여 분석하는 것은 의미 있는 연구라 할 수 있다.

프랙탈 구조로서의 시계열 분석은 Benoit B. Mandelbrot^[6-8]에 힘 입은 바가 크며, H. E. Hurst^[9,10]에 의해 제안된 허스트 지수를 구함으로서 상관 관계를 설명할 수 있다. 많은 자연 현상의 시계열 데이터들이 Fractional Brownian motion처럼 자기 유사성을 보이는 프랙탈이라는 것은 오래전부터 연구되어 이미 잘 알려진 사실이다. 불규칙성을 보이는 시계열 데이터들을 통계적으로 설명하기 위한 많은 분석법들이 있다. 이 논문에서는 자주 쓰이는 Autocorrelation Function Analysis(ACF)^[11,12], Rescaled Range Analysis(R/S Analysis)^[1,6,7,9,10], Detrended Fluctuation Analysis(DFA)^[11,13-16]의 세 가지 방법을 소개하고, 이 방법들을 통하여 공간 감마선량률의 시계열 데이터를 분석한다.

II. 대상 및 방법

1. 분석 대상

본 논문의 분석 대상은 강원도 강릉시 강릉원주 대학교에 위치한 강릉 지방 방사능 측정소에서 1998년부터 2011년까지 오전 10시, 오후 4시에 관측한 공간 감마선량률 데이터이다. 공간 감마선량률 데이터는 한 시간 누적 평균값을 사용하였으며(단위, 마이크로 룬트젠, $\mu R/h$) 지상으로부터 1~1.2m 높이에 설치된 공간 감마선량률 감시기를 통하여 주기적으로 측정되었다.

2. 분석 방법

강릉 지역 공간 감마선량률 시계열 데이터를 ACF, R/S Analysis, DFA의 세 가지 방법에 대하여 MATLAB 프로그램을 이용하여 코딩하였다. 나온 결과값들은 그래프 상의 점으로 나타내었으며 이 그래프의 추세선을 이용하여 각 지수를 구할 수 있다. 이 지수들을 바탕으로 통계 성질을 분석 하였다.

2.1 ACF

ACF는 시계열 데이터의 상관 관계를 보는 분석 방법이며 장거리 상관 관계가 있는 경우 다음 식의 지수를 구하여 그 특징을 알 수 있다.

$$C(s) \sim s^{-\gamma} \dots\dots\dots (1)$$

MATLAB 패키지를 통하여 기울기의 지수 값을 알 수 있다.

2.2 R/S Analysis

Edwin Hurst는 수문학 기사인데, 나일강의 댐을 디자인하다가 Rescaled Range Analysis라는 새로운 통계적 방법을 고안하게 되었다.

$$Y(i) = \sum_{k=1}^i [x_k - \langle x \rangle] \quad i = 1, \dots, N \dots\dots\dots (2)$$

여기서 x_k 는 시계열의 기록 값들이며, $\langle x \rangle$ 는 기록 값의 평균이고, $Y(i)$ 는 누적 값이다. 다음 단계는 누적 값 $Y(i)$ 의 최대값과 최소값의 차이를 나타내는 것이다.

$$R(s) = \max Y(i) - \min Y(i) \dots\dots\dots (3)$$

이 차이가 Range R이며, s 는 전체 데이터를 나누는 임의의 개수이다. 마지막으로 표준 편차를 구한다.

$$S(s) = \sqrt{\frac{1}{s} \sum_{i=1}^s Y^2(i)} \dots\dots\dots (4)$$

임의의 s 에 대한 R/S의 값을 MATLAB 프로그램 수치 해석으로 구할 수 있다.

2.3 DFA

DFA는 Peng et al.^[13]에 의해 제안되었으며, non-stationary한 시계열에서 프랙탈의 특성을 결정하기 위하여 폭넓게 사용되어 왔다.

$$Y(i) = \sum_{k=1}^i [x_k - \langle x \rangle] \quad i = 1, \dots, N \dots\dots (5)$$

여기서 x_k 는 시계열의 기록 값들이며, $\langle x \rangle$ 는 평균이고, $Y(i)$ 는 누적 값이다. $Y(i)$ 의 값에서 최소 자승법, $y_\nu(i)$ 으로 구한 식을 빼는 것으로 중간 단계의 결과를 얻을 수 있고 그 식은 다음과 같다.

$$F^2(s, \nu) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{ Y[(\nu-1)s+i] - y_\nu(i) \}^2 \dots (6)$$

여기서 s 는 전체 데이터를 나누는 임의의 개수이고, $\nu = 1, \dots, N_s$ 이며, $N_s = N/s$ 이다.

하지만 전체 시계열 데이터들이 항상 s 로 나누어지는 것은 아니므로, 데이터의 활용도를 높이기 위하여 데이터 값의 대입 순서를 정반대의 값으로부터 위의 식을 반복하여 실행함으로써 끝 부분에 남은 기록 값들도 분석할 수가 있다.

$$F^2(s, \nu) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{ Y[N - (\nu - N_s)s + i] - y_\nu(i) \}^2 \quad (7)$$

여기서 $\nu = N_s + 1, N_s + 2, \dots, 2N_s$ 이다.

이 과정의 마지막 단계는 앞의 식을 이용하여 산출한 결과들의 평균을 구하는 것이다. 그리고 제곱근을 취함으로써 다음과 같이 식을 얻는다.

$$F(s) = \left[\frac{1}{2N_s} \sum_{\nu=1}^{2N_s} F^2(s, \nu) \right]^{1/2} \sim s^\alpha \dots\dots\dots (8)$$

이 식을 s 의 값을 다르게 계산하여 각각의 $F(s)$ 를 구하고, $F(s)$ 와 s 의 값을 MATLAB 프로그램 수치 해석으로 구할 수 있다.

III. 결과 및 고찰

이 장에서는 위의 세 가지 분석 방법을 MATLAB 프로그램에 적용하여 나온 결과를 그래프에 그리고 기울기를 이용하여 결과 및 고찰을 한다.

먼저 ACF 방법을 이용하여 분석하였으며, Fig. 1에서 보듯이 (a)오전, (b)오후의 지수는 각각 $\gamma = 0.25$, $\gamma = 0.26$ 이다. 기울기가 $0 < \gamma < 1$ 의 값을 갖는 것은 분석된 시계열 데이터가 자기 유사성을 갖고 있으며 Long range correlation의 특성을 갖는 것으로 분석할 수 있다.

다음으로 R/S Analysis 방법과 DFA 방법을 적용하여 결과를 분석한다. Fig. 2은 R/S Analysis 방법의 결과를 나타내며 (a)오전, (b)오후가 log2.5 근처에서 크로스 오버를 보임을 알 수 있다. 크로스 오버 이전과 이후의 지수는 오전이 각각 $H = 0.79$, $H = 0.60$ 이며 크로스 오버 이전은 Persistence한 특성을 갖는 것으로, 이후로는 Brownian motion에 가까워지는 것을 알 수 있다.

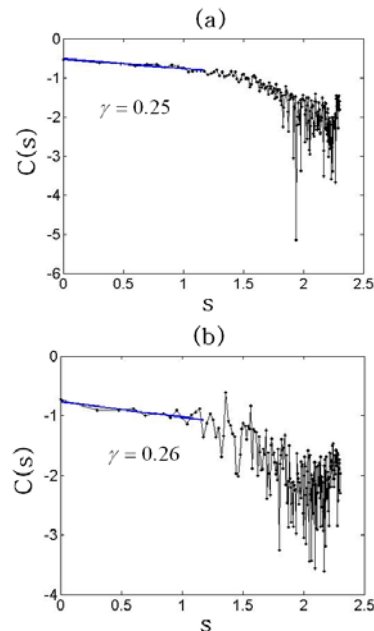


Fig. 1. Autocorrelation Function Analysis for time series data of gamma exposure rates at morning and afternoon. Which showed exponent (a) $\gamma = 0.25$, (b) $\gamma = 0.26$

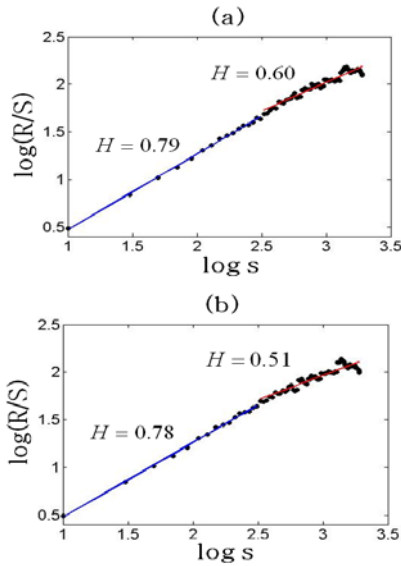


Fig. 2. R/S Analysis for time series data of gamma exposure rates at morning and afternoon. Which showed exponent (a)blue line(before crossover) $H = 0.79$ and red line(after crossover) $H = 0.60$, (b)blue line(before crossover) $H = 0.78$ and red line(after crossover) $H = 0.51$.

오후의 지수값은 $H = 0.78$, $H = 0.51$ 이며 크로스 오버 이전은 Persistence한 특성을 갖는 것으로, 크로스 오버 이후의 값이 Brownian motion임을 알 수 있다.

Fig 3.은 DFA 방법의 결과를 나타내며 (a)오전, (b)오후가 $\log 2.5$ 근처에서 크로스 오버가 나타남을 알 수 있다. 크로스 오버 이전과 이후의 지수는 오전이 각각 $\alpha = 0.92$, $\alpha = 0.46$ 이며 크로스 오버 이전은 Long range correlation한 특성을 갖는 것으로, 이후로는 Anti correlation의 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 오후의 크로스 오버 이전과 이후의 지수값은 $\alpha = 0.90$, $\alpha = 0.51$ 이며 크로스 오버 이전은 Long range correlation한 특성을 갖는 것으로, 이후로는 White noise의 특성을 갖는 것을 알 수 있다.

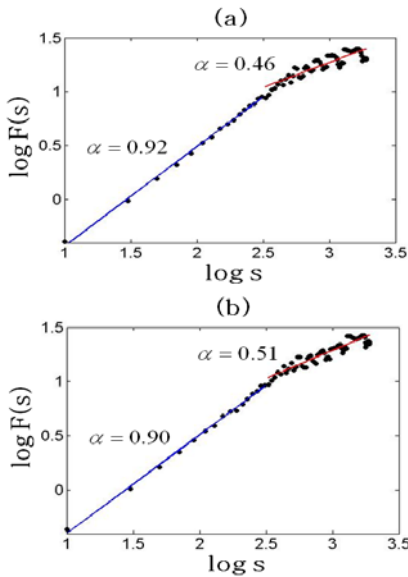
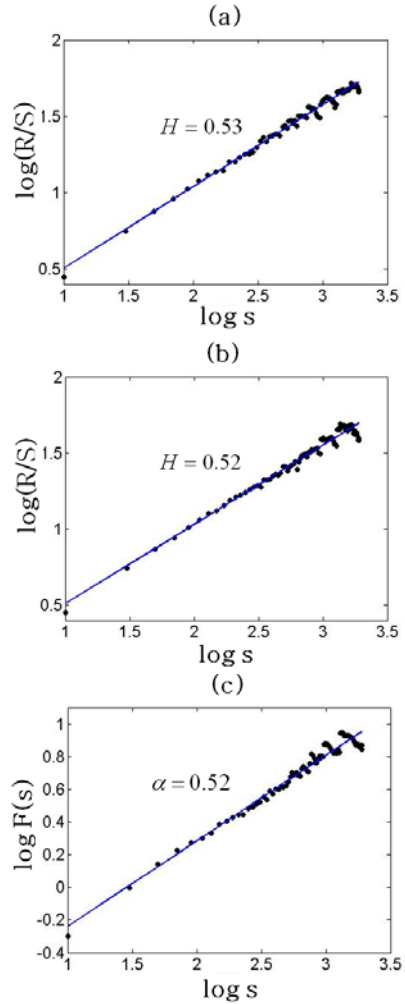


Fig. 3. Detrended Fluctuation Analysis for time series data of gamma exposure rates at morning and afternoon. Which showed exponent (a)blue line(before crossover) $\alpha = 0.92$ and red line(after crossover) $\alpha = 0.46$, (b)blue line(before crossover) and $\alpha = 0.90$ red line(after crossover) $\alpha = 0.51$.



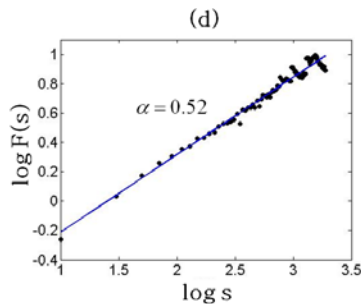


Fig. 4. R/S Analysis and Detrended Fluctuation Analysis for shuffled time series data of gamma exposure rates at morning and afternoon. Which showed exponent (a) $H = 0.53$, (b) $H = 0.52$, (c) $\alpha = 0.52$, (d) $\alpha = 0.52$.

R/S Analysis 방법과 DFA 방법은 비슷한 지수 값 결과가 나왔으며 각 지수들의 관계도 큰 오차를 보이지 않고 만족함을 알 수 있다.

R/S Analysis와 DFA 방법의 오전, 오후 값을 비교해 보면 같은 분석 방법의 오전, 오후 그래프가 거의 일치함을 알 수 있다. 이것은 강릉 지방 공간 감마선량이 태양의 영향을 받지 않는 것으로 분석 된다.

마지막으로 RS Analysis, DFA 방법으로 데이터를 셔플링하여 분석하였다. Fig. 4와 같이 지수가 상관성이 사라지는 값인 0.5에 가깝게 나왔다. 이 결과를 통하여 원래의 시계열 데이터만이 상관성이 있다는 것을 검증하였다.

시계열 분석 방법은 현재 국내에서도 수문학^[17], 금융학^[18], 수면 뇌파분석^[19,20,21], 운동역학^[22] 등 여러 분야의 연구에 이용 되고 있다.

본 논문에서도 세 가지 분석 방법을 통하여 분석한 결과 다른 현상들에 관한 연구와 마찬가지로 공간 감마선량률은 연중에 관하여 Long range correlation한 특성을 갖는 것을 알 수 있다.

현재 많은 분야에 시계열 데이터가 존재하며 이 데이터들은 본 논문의 분석 방법을 이용하여 연구 되고 있다. 뇌파 분석을 통해 수면단계 분석과 수면장애 등의 현상을 분석하는 것에 대한 연구는 이미 많이 알려진 연구 예이다.^[20] 시계열 분석을 통하여 알아낸 통계 성질을 이용하여 여러 복잡해 보이는 현상들의 상관성을 분석하는 것이다. 방사선 분야 또한 많은 시계열

데이터가 존재하며 다양한 연구에 적용이 가능할 것으로 사료된다. 따라서 학문간 공동 연구가 이루어질 수 있도록 각 분야의 연구자들이 활발하고 지속적인 논의를 해야 할 것이다.

IV. 결론

강릉 지역 공간 감마선량률은 오전, 오후 모두 log2.5, 약 320일을 중심으로 두 가지 다른 경향을 갖는 크로스 오버가 나타난다. 따라서 강릉 지방의 공간 감마선량률은 연중에 대해선 강한 Long range correlation 특성을 갖는 것으로, 연간에 대해선 상관성이 사라지는 Brownian motion의 특성을 갖는 것으로 결론을 내릴 수 있다. 또한 각 분석 방법들로 Persistence한 특성을 갖는 부분의 지수들을 구하였고, 이 지수들 사이의 관계식이 맞음을 확인 하였다.

시계열 분석에 있어서 가장 큰 난관은 시계열 데이터의 확보이다. 그 결과 본 논문에서는 강릉 지역만을 제한적으로 분석 하였다. 앞으로 관계 기관과 협조하여 전국 12개 지역의 지방 방사능 측정소와 59개의 간이 방사능 측정소에서 수집된 공간 감마선량률에 관한 시계열 분석을 하여 각 지방의 통계적 특성을 비교 분석 할 필요가 있다고 사료되며 더 나가서는 다른 자연 방사능 시계열 데이터에도 적용해 보아야 할 것이다.

시계열 분석은 현재 많은 분야의 연구에 이용 되고 있다. 특히 최근에는 수면 뇌파 분석^[19,20,21] 분야에서 많이 연구되고 있으며 심장 박동 분석^[23]과 같은 의학 분야나 방사선 분야의 연구에도 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] J. Feder, Fractals, Plenum Press, New York, 1988.
- [2] M.F. Barnsley, Fractals everywhere, Academic Press, 1993.
- [3] P.E.T. Jorgensen, Analysis and probability: wavelets, signals, fractals, Springer, Berlin 2000.
- [4] A. Bunde, J. Kropp, H.-J. Schellnhuber, The science of disasters climate disruptions, heart attacks, and market crashes, Springer, Berlin 2002.
- [5] H. Kantz, T. Schreiber, Nonlinear time series analysis, Cambridge University Press, 2003.

- [6] B.B. Mandelbrot, J.W. van Ness, Fractional Brownian motions, fractional noises and applications, SIAM Review, Vol.10, No.422, 1968.
- [7] B.B. Mandelbrot, J.R. Wallis, Some long-run properties of geophysical records, Water Resour. Res. vol.5, p.321-340, 1969.
- [8] Benoit B. Mandelbrot, Multifractals and 1/f noise: wild self-affinity in physics, Springer, Berlin 1999.
- [9] H.E. Hurst, Long-term storage capacity of reservoirs, Transactions of the American Society of Civil Engineering, Vol.116, No.770, 1951.
- [10] H.E. Hurst, R.P. Black, Y.M. Simaika, Long-term storage: an experimental study, Constable and Co, Ltd, London, 1965.
- [11] M.S. Taqqu, V. Teverovsky, W. Willinger, Estimators for long-range dependence: An empirical study, Fractals, Vol.3, No.785, 1995.
- [12] G.A. Hunt, Random Fourier transforms, Trans. Amer. Math. Soc. Vol.71, No.38, 1951.
- [13] C.-K. Peng, S.V. Buldyrev, S. Havlin, M. Simons, H.E. Stanley, A.L. Goldberger, Mosaic organization of DNA nucleotides, Phys. Rev. E, Vol.49, No.1685, 1994.
- [14] J. Mielniczuk, P. Wojdylo, Estimation of Hurst exponent revisited, Comp. Stat. Data. Anal. Vol.51, No.4510, 2007.
- [15] C. Heneghan, G. McDarby, Establishing the relation between detrended fluctuation analysis and power spectral density analysis for stochastic processes, Phys. Rev. E, Vol.62, No.6103, 2000.
- [16] R. Weron, Estimating long-range dependence: nite sample properties and condence intervals, Physica A, Vol.312, No.285, 2002.
- [17] 김병식, 김형수, 서병하 : 허스트 지수 산정 방법에 대한 고찰, 한국수자원학회논문지, Vol.37, No.12, p.993~1007, 2004.
- [18] 오갑진, 엄철준, 김승환외 1명 : 주식 가격 변화의 장기 기억속성 존재 및 영향요인에 대한 실증 연구, 금융공학연구, Vol.3, No.24, p.63~89, 2007.
- [19] 신흥범, 정도연, 김의중 : 정상인 수면 뇌파 탈경향변동분석, Sleep Medicine and Psychophysiology, Vol.14, No.1, p.42~48, 2007.
- [20] 김종원 : 컴퓨터를 이용한 수면 뇌파 분석 스펙트럼, 비경향 변동, 동기화 분석 예시, Sleep Medicine and Psychophysiology, Vol.15, No.1, p.5~11, 2008.
- [21] 예수영, 백승환 : 뇌파신호의 DFA 분석을 이용한 마취심도 측정, 한국산학기술학회논문지, Vol.11, No.7, p.2491~2496, 2010.
- [22] 최승진, 강동원, 탁계래 : 보행속도변화와 동시 인지과제가 보행 가변성에 미치는 영향, 한국운동역학회지, Vol.18, No.2, p.49~58, 2008.
- [23] Y. Ashkenazy, P. Ch. Ivanov, S. Havlin, C.-K. Peng, A. L. Goldberger, H. E. Stanley, Magnitude and sign correlation in heartbeat fluctuations, Phys. Rev. Lett. Vol.86, No.1900, 2001.