ISSN : 1976-0620

http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2013.7.5.347 "Journal of the Korean Society of Radiology, Volume 7, Number 5"

Cross Correlation Analysis of Gamma Exposure Rates and Rainfall, Hours of Saylight, Average Wind Speed in Gangneung Area

Hohwan Cha, Jaehwa Kim

Department of Physics, Gangneung-Wonju National University

강릉 지역 공간 감마선량률과 강수량, 일조시간, 평균풍속 사이 교차 상관성 분석

차호환, 김재화

강릉원주대학교 물리학과

Abstract

In this study, we analyze the cross correlation between Gamma exposure rates and Rainfall, Hours of daylight, Average wind speed using cross-correlation coefficient ρ_{DCCA} and DCCA cross-correlation coefficient(DCCA ρ) method. Our data are measured simultaneous in Gangneung regional. First, we find the ρ_{DCCA} between Gamma exposure rates and Rainfall is Day(3~7days) 0.57~0.48, Month(30days) 0.39, Season(90days) 0.34, Year(360days) 0.26, between Gamma exposure rates and Hours of daylight is Day －0.20~-0.23, Month －0.22, Season －0.17, Year －0.13, between Gamma exposure rates and Average wind speed is Day －0.10~-0.12, Month －0.11, Season －0.05, Year －0.05. Second, our finding is cross- correlation between Gamma exposure rates and Rainfall, is no cross-correlation between Gamma exposure rates and Hours of daylight, Average wind speed.

Key Words : Gamma exposure rates, Cross correlation coefficient ρ_{DCCA}, DCCA ρ, DFA

요 약

본 논문은 강릉 지역에서 동일 기간에 기록된 공간 감마선량률과 강수량, 일조시간, 평균풍속 사이의 교차 상관 지수 ρ_{DCCA}를 DCCA cross-correlation coefficient(DCCA ρ)방법으로 구하여 교차 상관성을 분석하였다. 우리는 이 연구를 통해 다음의 사실을 알았다. 첫 번째, 공간 감마선량률과 강수량 사이 ρ_{DCCA}는 일(4~7일), 달(30일), 계절(90일), 년(360일)에서 0.57~0.48, 0.39, 0.34, 0.26, 공간 감마선량률과 일조시간 사이 ρ_{DCCA}는 일, 달, 계절, 년에서 －0.20~-0.23, -0.22, -0.17, -0.13, 공간 감마선량률과 평균풍속 사이의 ρ_{DCCA}는 일, 달, 계절, 년에서 －0.10~-0.12, -0.11, -0.05, -0.05이다. 두 번째, ρ_{DCCA}를 통하여 공간 감마선량률과 강수량은 교차 상관성이 있으며 공간 감마선량률과 일조시간, 평균풍속 사이에는 교차 상관성이 없다는 것을 확인하였다.

중심단어 : 공간 감마선량률, 교차 상관 지수 ρ_{DCCA} , DCCA ρ, DFA

Corresponding Author: Jaehwa Kim E-mail:jhkim@gwnu.ac.kr Tel: +82-033-640-2292
Addr. Gangneung-Wonju National University, Jibyon-dong, Gangneung-si, Gangwon-do, 210-702, Korea
Received : September 17, 2013 Revised :October 17, 2013 Accepted : October 25, 2013

Ⅰ. 서 론

시계열 분석은 물리학, 생리학, 지진학, 금융공학, 기상학 등의 분야에서 여러 통계적 분석법에 의해 지속적이며 폭넓게 연구되어 왔다. 이 연구들을 통하여 실제 데이터는 장거리 상관성과 교차 상관성을 가지고 있다는 것이 밝혀졌다.[1-3] 현재까지 이러한 상관성들을 이용하여 여러 분야에서 다양한 현상들을 설명하였으며, 최근에는 동시에 기록된 두 데이터 사이의 교차 상관 지수를 이용한 교차 상관성 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.[4-8]

일반적으로 초기의 장거리 상관성과 교차 상관성을 연구하는 분석 방법들은 ACF(Auto-correlation function)[11], CCF(Cross-correlation function)가 있으며 이 방법들은 데이터가 정상적(Stationary)인 성질을 갖는 경우에 사용된다. 우리의 주 연구 대상은 비정상적(Non-Stationary) 성질을 갖는 실제 데이터이므로 이 방법들은 적합하지 않은 것으로 알려져 있다. 비정상적(Non-Stationary) 성질을 갖는 데이터들의 시계열 분석은 DFA(Detrended fluctuation analysis)[9,11], DCCA(Detre--nded cross-correlation analysis)[5], DCCA ρ(DCCA cross--correlation coefficient)[7,8]방법이 가장 유용하다고 알려져 있다. 이 방법들을 사용하여 장거리 상관성과 교차 상관성을 분석 할 수 있다. DFA, DCCA의 두 식으로 정의되는 DCCA ρ 방법은 동시에 기록되고 장거리 상관성을 갖는 두 실제 데이터 사이 교차 상관 지수를 구하는 방법이며 이 지수를 통해 시계열 사이의 교차 상관성을 분석한다.[7,8]

최근 세계 여러 도시나, 국내의 여러 도시에 대한 일부 기상요소 사이에 DCCA ρ 방법을 이용한 교차 상관성을 연구한 논문들이 발표 되었으며[8,10] 그 결과들은 매우 유용할 것이다. 이미 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있지만 공간 감마선량률에 관한 교차 상관성 연구는 아직 이루어지지 않았다. 따라서 공간 감마선량률에 관한 교차 상관성은 한시라도 빨리 연구되어야 할 가치가 있을 것으로 보인다.

본 논문에서는 강릉 지역에서 기록된 공간 감마선량률과 강수량, 일조시간, 평균풍속에 DCCA ρ 방법을 적용하여 교차 상관 지수를 구하였고 이 결과를 이용하여 교차 상관성을 분석한다.

Ⅱ. 대상 및 방법

1. 분석 대상

DCCA ρ 방법의 대상은 동시에 기록되어야 한다. 따라서 분석 대상은 2009년 1월 1일부터 2011년 12월 31일까지 강릉 지역에 위치한 지방 방사능 측정소와 각 지방 기상청에서 관측한 공간 감마선량률과 강수량, 일조시간, 평균풍속의 일별 데이터이다. 공간 감마선량률은 지상으로부터 1~1.2m 높이에 설치된 섬광형 방사선 감시기[NaI(Tl)]를 통하여 한 시간 누적값으로 기록되며 평균값은 $11.78\mu R/h$ 이다. 강수량, 일조시간, 평균풍속은 기상청 홈페이지에 공개된 일별 데이터를 이용하였다.[14]

2. 분석 방법

공간 감마선량률과 강수량, 일조시간, 평균풍속 데이터를 DCCA ρ 방법에 대하여 MATLAB 프로그램을 이용하여 코딩하였고 그 결과값인 교차 상관 지수를 그래프와 표로 나타내고 분석 하였다.

ACF와 CCF는 장거리 상관성과 교차 상관성을 연구하는 가장 잘 알려진 방법들이다. 이 방법들을 정의하기 위하여 두 개의 동시에 기록된 시계열 데이터의 편차를 $\{y_i\}$, $\{y_i'\}$ 라 한다. 여기서 $i=1,\dots,N$, $k \le N$ 이다. 각 시계열 데이터에 대한 ACF는 다음과 같다.

$$A(n) = \overline{(y_k-\mu)(y_{k+n}-\mu)}/\sigma^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$$A'(n) = \overline{(y'_k-\mu')(y'_{k+n}-\mu')}/\sigma'^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

$\mu = \overline{y_i}$, $\mu' = \overline{y'_i}$, $\sigma^2 = \overline{(y_i-\mu)^2}$, $\sigma'^2 = \overline{(y'_i-\mu')^2}$ 는 각각의 평균과 분산이고, $A(n) \sim n^{-\gamma}$, $A'(n) \sim n^{-\gamma'}$, $0<\gamma,\gamma'<1$ 이다. 각 시계열 데이터에 대한 CCF는 다음과 같다.

$$X(n) = \overline{(y_k-\mu)(y'_{k+n}-\mu')}/(\sigma\sigma') \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

여기서 $X(n) \sim n^{-\gamma_\times}$, $0<\gamma_\times<1$ 이다.

Peng et al[9]에 의해 제안 된 DFA를 정의하기 위하여 어떤 시계열 데이터의 편차를 $\{y_i\}$라 한다. 편차의

ISSN : 1976-0620

누적값은 $Y_k \equiv \sum_{i=1}^{k} y_i$ 이고, 여기서 $i = 1, \ldots, N$, $k = 1, \ldots, N$ 이다. DFA 정의의 첫 과정은 전체 데이터 N을 박스로 나누는 것이다. 두 번째 과정으로 $\tilde{Y}_{k,i}$ $(i \le k \le i+n)$를 정의한다. 이 값들은 각 박스 안 $Y_{k,i}$ 값들의 이차 다항식이고 "Local trend"라 한다. 세 번째로 각 박스에서 "Detrended walk"라 정의 된 $(Y_k - \tilde{Y}_{k,i})$를 이용하여 다음 식을 정의 한다.

$$f^2_{DFA}(n,i) \equiv 1/(n+1) \sum_{k=i}^{i+n} (Y_k - \tilde{Y}_{k,i})^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

마지막으로 평균을 구하는 것으로 DFA가 정의 된다.

$$F^2_{DFA}(n) \equiv (N-n)^{-1} \sum_{i=1}^{N-n} f^2_{DFA}(n,i) \sim n^{\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots (5)$$

DCCA 방법은 Podobnik and Stanley에 의해 제안되었다.[5] 두 시계열 데이터의 편차가 각각 $\{y_i\}$, $\{y_i'\}$ 이면, 편차의 누적값은 $Y_k \equiv \sum_{i=1}^{k} y_i$, $Y_k' \equiv \sum_{i=1}^{k} y_i'$, Local trend는 $\tilde{Y}_{k,i}$, $\tilde{Y}_{k,i}'$ $(i \le k \le i+n)$, 여기서 $i = 1, \ldots, N$, $k = 1, \ldots, N$ 이다. 각 박스에 대한 공분산은

$$f^2_{DCCA}(n,i) \equiv 1/(n+1) \sum_{k=i}^{i+n} (Y_k - \tilde{Y}_{k,i})(Y_k' - \tilde{Y}_{k,i}') \quad \cdots(6)$$

이고, 전체 $N-n$ 박스에 대한 평균값은

$$F^2_{DCCA}(n) \equiv (N-n)^{-1} \sum_{i=1}^{N-n} f^2_{DCCA}(n,i) \sim n^{2\lambda} \quad \cdots\cdots (7)$$

로 정의 된다. 여기서 γ가 장거리 교차 상관성을 나타낸다. 그러나 γ가 교차 상관성 레벨을 나타내지는 못한다. 따라서 G. F. Zebende에 의해 제안된 DCCA ρ 방법의 교차 상관 지수 ρ_{DCCA}를 다음과 같이 정의한다.[7]

$$\rho_{DCCA} = \frac{F^2_{DCCA}(n)}{F_{DFA\{x_i\}} F_{DFA\{x_i'\}}(n)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

ρ_{DCCA} 는 $-1 \le \rho_{DCCA} \le 1$ 이다. 두 시계열에 대하여 ρ_{DCCA} = 1 이면 Perfectly cross-correlation이고 ρ_{DCCA} = -1 이면 Perfectly anti-cross-correlation이다. ρ_{DCCA} = 0 이면 No cross-correlation이고 표 1에 정리하였다.

이 지수값들의 의미는 그림 1을 이용하여 설명할 수 있다. 그림 1은 서로 다른 두 Random data 1, 2를 생성하여 DCCA ρ 방법에 적용하여 ρ_{DCCA}를 나타낸 그래프이다. 두 시계열 값에 Random data1을 넣고 DCCA ρ 방법에 적용하면 ρ_{DCCA}는 1이 나오며, 서로 다른 Random data 1, 2 적용하면 ρ_{DCCA} = 0 이 나온다. 또 Random data 1과 Reverse random data 1에 적용하면 ρ_{DCCA} = -1 이 나온다. 즉 Perfectly cross-correlation은 동일한 시간에 대하여 두 시계열이 동일한 경향을 갖음을 의미하며, Anti-cross-correlation은 동일한 시간에 대하여 두 시계열이 반대되는 경향을 가짐을 의미한다. No cross-correlation은 동일한 시간에 대하여 두 시계열이 교차 상관성이 전혀 없다는 것을 의미한다.

Table 1. DCCA cross-correlation coefficient ρ_{DCCA} in terms of cross-correlation.

ρ_{DCCA}	Condition
1	Perfect cross-correlation
0	No cross-correlation
-1	Perfect anti cross-correlation

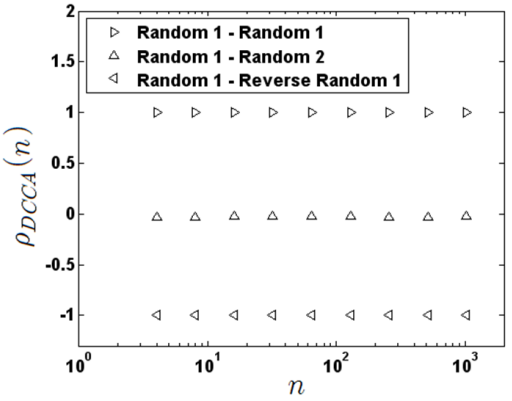

Fig 1. DCCA cross-correlation coefficient ρ_{DCCA} between Random data 1 - Random data 1(ρ_{DCCA}= 1), Random data 1 - Random data 2(ρ_{DCCA}= 0) and Random data 1 - Reverse Random data 2(ρ_{DCCA}= -1).

Ⅲ. 실험결과

DCCA ρ 방법을 강릉 지역 공간 감마선량률과 강수량, 일조시간, 평균풍속의 실제 데이터에 직접 적용하여 나온 값을 표와 그래프로 나타내고 이 결과를 이용하여 분석 한다.

먼저 강릉 지역에서 동일 기간에 기록된 공간 감마선량률과 강수량, 일조시간, 평균풍속 사이의 교차 상관 지수 ρ_{DCCA}를 DCCA ρ 방법으로 구하여 그림 2에 나타내었다. y축은 식(8)에 의하여 계산된 ρ_{DCCA}값이며, x축 n은 각 스케일의 크기 n= [3, 4, 5, ……, 29, 30], [60, 90, 120, ……, 360]이다. 그림 2에서 공간 감마선량률과 강수량 사이의 교차 상관성은 작은 스케일에서 강한 교차 상관성을 보이며 스케일이 증가할수록 약한 교차 상관성을 보이며, 공간 감마선량률과 일조시간 사이의 교차 상관성은 작은 스케일에서 매우 약한 교차 상관성을 보이다가 스케일이 증가하면서 거의 사라지는 것으로 분석된다. 또 공간 감마선량률과 평균풍속 사이의 교차 상관성은 모든 스케일에서 없는 것으로 분석된다.

다음으로 각 스케일 n이 시간에 해당하는 것을 이용하여 표 2와 같이 일(3~7일), 달(30일), 계절(90일), 년(360일)에 대하여 분석할 수 있다. 공간 감마선량률과 강수량 사이 ρ_{DCCA}는 일, 달, 계절, 년에서 0.57~0.48, 0.39, 0.34, 0.26이며, 일간에서 강한 교차 상관성을 보이며 연간으로 갈수록 약한 교차 상관성을 보인다. 공간 감마선량률과 일조시간 사이 ρ_{DCCA}는 일, 달, 계절, 년에서 -0.20~-0.23, -0.22, -0.17, -0.13이며, 일간, 월간에서 매우 약한 교차 상관성을 보이다가 계절, 연간에서 거의 사라진다. 공간 감마선량률과 평균풍속 사이의 ρ_{DCCA}는 일, 달, 계절, 년에서 -0.10~-0.12, -0.11, -0.05, -0.05이며, 모든 기간에서 교차 상관성이 없음을 알 수 있다. 이 분석 결과로 보아 Wash-out 현상처럼 비나 눈이 올 때 공간 감마선량률이 증가하며 일조시간과 평균풍속은 공간 감마선량률에 거의 영향을 미치지 않음을 의미한다.

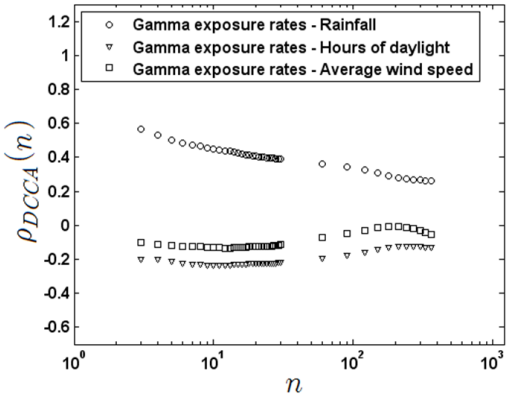

Fig 2. DCCA cross-correlation coefficient ρ_{DCCA} between Gamma exposure rates - Rainfall, Gamma exposure rates - Hours of daylight and Gamma exposure rates - Average wind speed.

마지막으로 그림 3과 같이 공간 감마선량률과 강수량, 일조시간, 평균풍속을 셔플링하여 교차 상관 지수 ρ_{DCCA}를 구하였으며 모두 No cross-correlation한 결

Table 2. Values of ρ_{DCCA} with seasonal components.

Scale / Real data	Days(3~7)				
	3	4	5	6	7
Gamma exposure rates - Rainfall	0.57	0.53	0.50	0.49	0.48
Gamma exposure rates - Hours of daylight	-0.20	-0.20	-0.21	-0.22	-0.23
Gamma exposure rates - Average wind speed	-0.10	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12

Scale / Real data	Month	Season	Year
	30	90	360
Gamma exposure rates - Rainfall	0.39	0.34	0.26
Gamma exposure rates - Hours of daylight	-0.22	-0.17	-0.13
Gamma exposure rates - Average wind speed	-0.11	-0.05	-0.05

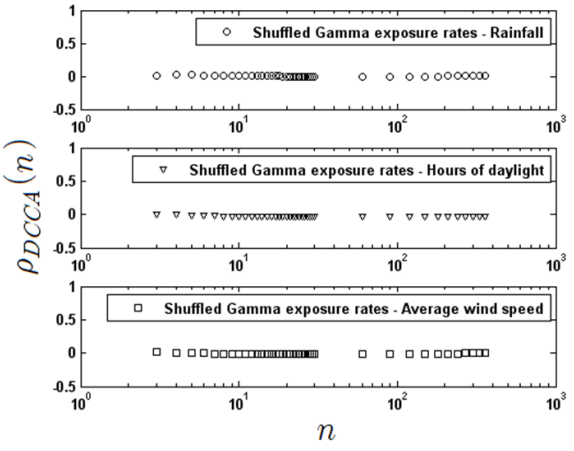

Fig 3. DCCA cross-correlation coefficient ρ_{DCCA} between Shuffled Gamma exposure rates - Shuffled Rainfall(ρ_{DCCA}=0), Shuffled Gamma exposure rates - Shuffled Hours of daylight(ρ_{DCCA}=0) and Shuffled Gamma exposure rates -

ISSN : 1976-0620

Shuffled Average wind speed(ρ_{DCCA}=0).

과인 0이 나왔다. 이것으로 본 논문에서 사용된 원래의 시계열만이 상관성을 갖는다는 것을 검증하였다.

IV. 고 찰

본 논문은 DCCA ρ 방법을 사용하여 두 시계열 사이의 교차 상관 지수를 구하여 교차 상관성을 분석하였다. DCCA ρ 방법으로 두 시계열 사이의 교차 상관지수 ρ_{DCCA}를 구할 수 있고, 이 ρ_{DCCA}의 결과값을 이용하여 교차 상관성을 분석 하는 것이다. 우리는 이 방법을 공간 감마선량률과 상관성이 있다고 알려진 강수량과 상관성이 없다고 알려진 일조시간, 평균풍속에 적용하였다. 비나 눈이 온 뒤 측정값이 높게 나오는데 이것을 Wash-out이라고 한다. 강수량은 공간 감마선량률의 측정값에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 하지만 공간 감마선량률과 강수량이 어느 정도의 상관성을 갖는지 말하는 하는 것은 쉽지 않다. DCCA ρ 방법은 그 문제점을 해결하는데 그 의의가 있다고 할 수 있다. 두 시계열의 교차 상관성을 수치화 한다면 상관성 정도를 쉽게 이해 할 수 있을 것이다.

우리는 DCCA ρ 방법을 강릉 지역에서 2009년부터 2011년까지 측정된 공간 감마선량률과 강수량, 일조시간, 평균풍속의 실제 데이터에 적용을 하여 강수량, 일조시간, 평균풍속이 공간 감마선량률과 어느 정도의 교차 상관성을 갖는지 분석하였다. 분석 결과는 시간에 대한 ρ_{DCCA}를 그린 그래프와 표를 통하여 할 수 있으며 다음과 같이 결론을 내릴 수 있다.

강릉 지역 공간 감마선량률과 강수량 사이 ρ_{DCCA}는 0.57~0.48(일), 0.39(월), 0.34(계절), 0.26(년)이다. 따라서 교차 상관성은 일간에 대해 강한 교차 상관성이 있음을, 연간으로 갈수록 교차 상관성이 약해짐을 알 수 있다. 이것은 비나 눈이 올 때 공간 감마선량률이 증가함을 의미하며 일반적으로 알려진 Wash-out 현상임을 확인하였다. 공간 감마선량률과 일조시간 사이 ρ_{DCCA}는 -0.20~-0.23(일), -0.22(월), -0.17(계절), -0.13(년), 공간 감마선량률과 평균풍속과 사이 ρ_{DCCA}는 -0.10~-0.12(일), -0.11(월), -0.05(계절), -0.05(년)이다. 공간 감마선량률과 일조시간, 공간 감마선량률과 평균풍속과 사이의 교차 상관성은 매우 약함을 확인하였으며, 이것은 일조시간과 평균풍속이 공간 감마선량률에 거의 영향을 주지 않음을 의미한다.

본 논문에 사용된 DCCA ρ 방법은 자연 방사선 분야뿐만이 아니라 시계열 데이터를 갖는 모든 분야에 적용이 가능하다. 금융공학의 주가[8], 방사선학의 피폭선량[12], 흡수 스펙트럼[13]에 관계된 데이터들과의 교차 상관성을 정량화하는데 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구의 결과로 공간 감마선량률과 강수량은 교차 상관성이 있으며 일간에 대해 강한 교차 상관성이 있음을, 연간으로 갈수록 교차 상관성이 약해짐을 알 수 있다. 또한 공간 감마선량률과 일조시간, 평균풍속 사이에는 교차 상관성이 없다는 것을 확인하였다.

공간 감마선량률과 다른 시계열 사이의 DCCA ρ 방법으로 구한 교차 상관 지수 ρ_{DCCA}를 이용한 교차 상관성 분석은 자연 방사선 분야에서 매우 중요한 역할을 할 것이며 앞으로 더 다양한 시계열 사이에서 연구가 지속적으로 이루어질 것이다.

DCCA ρ 방법이 소개된지 얼마 되지 않았으므로 아직은 논문이 그리 많지 않은 편이다. 현재는 기상요소 사이에서의 교차 상관성 연구가 가장 활발하다.[8,10] 하지만 본 논문과 같이 자연 방사선 분야에 이 방법을 적용한 것처럼 앞으로 다양한 학문에서 활발하게 연구될 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] J. Feder, Fractals, Plenum Press, New York, 1988.

[2] M. F. Barnsley, Fractals everywhere, Academic Press, 1993.

[3] A. Bunde and S. Havlin, Fractals in Science, Springer, Berlin, 1994.

[4] B. Podobnik, Z.-Q. Jiang, W.-X. Zhou and H. E. Stanley, Statistical tests for power-law cross-correlated processes, Phys. Rev. E, Vol 84, No 066118, 2011.

[5] B. Podobnik and H. E. Stanley, Detrended cross-correlation analysis : A new method for analyzing two nonstationary time series, Phys. Rev. Lett., Vol 100, No 084102, 2008.

[6] D. Horvatic, H. E. Stanley and B. Podobnik, Detrended cross-correlation analysis for non-stationary time series with periodic trends, Europhys. Lett., Vol 94, No 18007, 2011.

[7] G. F. Zebende, DCCA cross-correlation coefficient, quantifying level of cross-correlation, Physica A, Vol 390, No 614, 2011.

[8] R.T. Vassoler and G.F. Zebende, DCCA cross-correlation coefficient : Quantifying level of cross-correlation, Physica A, Vol 391, No 2438, 2012.

[9] C.-K. Peng, S. V. Buldyrev, S. Havlin, M. Simons, H. E. Stanley and A. L. Goldberger, Mosaic organization of DNA nucleotides, Phys. Rev. E, vol 49, No 1685, 1994.

[10] G. Lim, K. Kim, J.-K. P and K.-H. C, J. Dynamical Analyses of the Time Series for the Temperature and the Humidity, Korean Phys. Soc., Vol 62, No 193, 2013.

[11] Hohwan Cha, Jaehwa Kim, Time Series Analysis of Gamma exposure rates in Gangneung Area, Journal of the Korean Society of Radiology, Vol 7, No 1, 2013.

[12] Minsun Yu, Jaeseung Lee, Inchul Im, Evaluation of Approximate Exposure to Low-dose Ionizing radiation from Medical Images using a computed Radiography (CR) System, Journal of the Korean Society of Radiology, Vol 6, No 6, 2012.

[13] Kyotae Kim, Sangsik Kang, Sicheul Noh, Bongjae Jung, Changhoon Cho, Yeji Heo, Jikoon Park, Absorbed Spectrum Comparison of Lead and Tungsten in Continuous X-ray Energy using Monte Carlo Simulation, Journal of the Korean Society of Radiology, Vol 6, No 6, 2012.

[14] http://www.kma.go.kr/