

## 디지털 의료영상에서 위너스펙트럼(Wiener spectrum)의 보정방법

— Correction Method of Wiener Spectrum (WS)  
on Digital Medical Imaging Systems —

고려대학교 보건과학대학 방사선학과

김정민 · 이기성 · 김유현

### — 국문초록 —

노이즈를 평가하는 방법은 Root Mean Square(RMS) 입상도, 자기상관함수, 위너스펙트럼이 있다. RMS입상도는 광자데이터의 표준편차로 나타내며, 자기상관함수는 거리변화에 따른 1차원함수를 중적분하여 얻어진다. 그리고 자기상관함수를 푸리에 변환하면 노이즈 파워 스펙트럼이 되고, 화상에서는 이것을 위너스펙트럼이라고 한다.

위너스펙트럼은 노이즈 자체만을 표현할 뿐 아니라 해상특성을 나타내는 Modulation Transfer Function(MTF)과 함께 Detective Quantum Efficiency(DQE)를 산출하는 중요한 요소가 된다. 제시된 위너스펙트럼의 평가기술은 교육현장에서 그 개념을 교육하거나 임상 환경에서 시설에 알맞은 디지털 영상 검출기를 선택하고 디지털 영상 시스템의 영상품질을 유지 보수하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

**중심 단어:** 위너스펙트럼, 노이즈 파워 스펙트럼, 이산 푸리에 변환법

### I. 서 론

이산화되고 양자화된 데이터의 나열이 디지털화상이다. X선이 발생하고 형광체에 흡수되고 다시 발광하는 모든 과정은 랜덤하다. X선광자 또는 빛광자가 흡수되는 위치나 밀도에는 통계적인 변화가 있으며 이들이 의료영상에서는 잡음(노이즈)으로 나타난다<sup>1)</sup>. 오래전부터 X선 상에서의 잡음에 관한 연구가 있었으나 증감지/필름계에 있어서는 필름의 입자를 무한소로 볼 수 있었기 때문에 아날로그계의 노이즈는 X선 광자 모틀(mottle)과 증감지의 모

틀이 전부라 해도 무방하였다. 그리고 이 두 가지는 피할 수 없는 과정이므로 증감지/필름 계의 노이즈에 대한 평가는 현재의 디지털계 보다는 덜 중요하게 여겨져 왔다. 그러나 디지털계로 넘어오면서 사정은 달라져 검출, 기록, 표시단계에서 많은 잡음의 발생요인이 생겼다. 즉, 검출부의 픽셀이 아주 크고, 전기계의 잡음, 데이터의 압축에 따른 손실, 디스플레이계 자체의 노이즈가 더해지면서 노이즈에 의한 화질감소요인이 대폭 증가하였다.

노이즈를 평가하는 방법은 RMS 입상도, 자기상관함수(autocorrelation function(ACF)), 위너스펙트럼(Wiener spectrum(WS))이 있다<sup>2~6)</sup>. RMS 입상도는 광자데이터의 표준편차로 나타내며, 자기상관함수는 거리변화에 따른 1차원함수를 중적분하여 얻어진다. 그리고 자기상관함수를 푸리에 변환하면 노이즈 파워 스펙트럼(Noise Power Spectrum(NPS))이 되고 화상에서는 이것을 위너스펙트럼이라고 한다.

\*접수일(2008년 7월 17일), 1차심사일(2008년 8월 28일), 2차심사일(2008년 2월 6일), 확정일(2009년 3월 3일)

책임저자: 김정민, (136-703) 서울특별시 성북구 정릉동 산1번지  
고려대학교 보건과학대학 방사선학과  
TEL: 02-940-2824, FAX: 02-917-9074  
E-mail : minbogun@korea.ac.kr

위너스펙트럼은 노이즈 자체만을 표현할 뿐 아니라 해상특성을 나타내는 MTF와 함께 DQE를 산출하는 중요한 요소가 된다<sup>7,8)</sup>.

위너스펙트럼의 산출은 개념이 어렵고 계산방법이 복잡하여 실험실의 특정한 연구자들의 전유물로 알기 쉬우나 IEC62220-1의 NPS의 측정방법을 준수한다면 누구라도 정량적인 위너스펙트럼 값을 산출할 수 있다.

저자는 프리샘플링 위너스펙트럼의 팟팅 과정을 디지털 특성곡선의 작성, White 이미지로부터 디지털 데이터의 획득, 정규화(normalization)과정과 푸리에 변환에 의하여 최종 위너스펙트럼을 산출하였으며 이 방법과 과정을 CR화상(Konica Regius 150)데이터를 예로 제시하여 보고하고자 한다.

## II. 위너스펙트럼의 산출과정

### 1. 위너스펙트럼을 위한 촬영

위너스펙트럼을 산출하기위한 촬영 자체는 간단하다. 피사체를 놓지 않고 촬영하고 그때의 선량을 기록하기만 하면 된다. 단, 측정 목적에 맞게 설정과 정확도는 크게 변화시켜야 한다. 선질은 IEC규격을 준용한다. IEC규격에서는 RQA 5(약 70 kVp, Al부가 필터 21 mm, Al 반가총 7.1 mm)를 추천하고 있다. RQA 3, RQA 7 및 RQA 9 도 예시되어 있다.

이 실험에서는 Al 부가필터와 Al 반가총이 요구항목이므로 관전압을 조정하여 선질을 결정하였다. DQE 측정에 매달리지 않는다면 다른 임상 선질로도 지장이 없다.

그림 1에서는 위너스펙트럼의 디지털 이미지를 표현 한 것이며, X선 영상시스템에서 획득된 white 영상의 관심

영역(Region Of Interest(ROI))을 각각  $256 \times 256$ ,  $128 \times 128$ 로 하여 4개 구역에서 2차원 DFT(Discrete Fourier Transform)를 실행한다.

### 2. 디지털 특성곡선

디지털의 경우 증감지/필름 계와 달리 상반법칙이 성립하기 때문에 타이머 자체의 오차가 크지 않다면 time scale 법에 따라 노광하여도 작은 오차의 데이터를 얻을 수 있다<sup>9)</sup>.

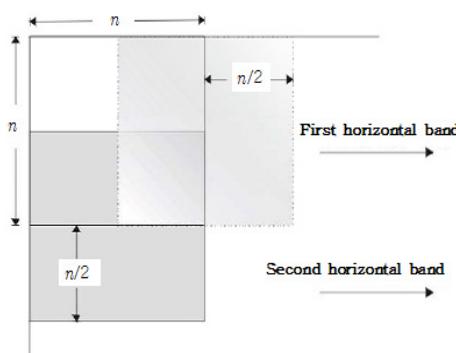
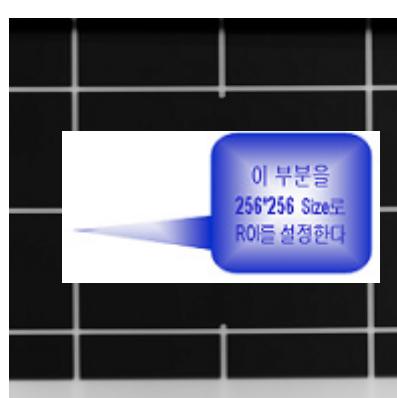
촬영 화상 각각에 대하여 측정 영역 화소 값의 평균  $\langle PV(pixle\ value) \rangle$ 를 구한다. 이것을 종축에, 횡축에는 선량을 상용대수 축으로 그리거나 또는 그 반대의 방법으로 그래프를 그리면 그림 2와 같은 특성곡선이 얻어진다. 만일 직선계조라면 그 직선의 경사 G를 구한다. 곡선계조라면 곡선을 그리고 나서 위너스펙트럼 측정선량에 대한 경사 G를 구한다.

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta PV(X, Y)}{G(\log_{10}e)} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

양변을 미분하여 변형하면 (1)식이 얻어진다. (1)식은 미소 구간이라면 비선형데이터로부터 계산한 위너스펙트럼에 계수를 곱하기만 하면 되고, 이를 선형 데이터로부터 계산한 위너스펙트럼으로 변환할 수 있다는 것을 나타내고 있다.

$$PV = G(\log_{10}E) + \alpha \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

(2)식은 특성곡선 선량과 화소 값의 관계를 나타내는 look up table과 같은 것이므로 이 역함수를 이용하면 비선형의 화상데이터를 선형데이터로 변환할 수가 있다.



The size of the ROIs shall be  $n = 256$

Fig. 1. Acquired White Image for Wiener spectrum

### 3. 위너스펙트럼 이미지로부터 디지털 데이터 획득

그림 1과 같이 이미지로부터 계산에 필요한 관심 영역을 선정한 후 디지털 화상 데이터를 텍스트 데이터로 저장한다. 저장한 텍스트파일을 마이크로소프트사의 Excel 프로그램에서 열면 그림 3에 나타난 것과 같은 위너스펙트럼의 디지털 데이터가 얻어진다.

### 4. 정규화(Normalization)

디지털 위너스펙트럼은 노이즈의 파워 스펙트럼 확률밀도함수로서 선형데이터를 이용한 식 또는 비선형 데이터를 이용한 식으로 주어진다.

$$WS\Delta E/\langle E \rangle(U_j, u_k)$$

$$= \lim_{N_x, N_y \rightarrow \infty} \frac{\Delta X \Delta Y}{N_x N_y} < |DFT^{2D} \cdot \frac{\Delta X(X_s, Y_k)}{\langle E \rangle}|^2 >$$
(3)

$$= \lim_{M, N_x, N_y \rightarrow \infty} \frac{\Delta X \Delta Y}{MN_x N_y} \sum_{m=1}^U < |DFT^{2D} \cdot \frac{\Delta E_m(X_s, Y_t)}{\langle E \rangle}|^2 >$$
(4)

$$WS\Delta E/\langle E \rangle(U_j, u_k) =$$

$$\frac{1}{G^2(\log_{10}e)^2} \lim_{M, N_x, N_y \rightarrow \infty} \frac{\Delta X \Delta Y}{MN_x N_y} \sum_{m=1}^U |DFT^{2D}\{\Delta P V_m(X_s, Y_t)\}|^2$$
(5)

$$F(U_j, U_k) = DFT^{2D}\{f(X_s, Y_k)\}$$

$$= \sum_{s=0}^{S-1} \sum_{t=0}^{T-1} f(X_s, Y_k) e^{-2\pi i (U_j X_s + U_k Y_t)} \quad \dots \quad (6)$$

$$W_{OUT}(U_n, U_k) \frac{\Delta X \Delta Y}{M^* 256 * 256}$$

$$\sum_{I=1}^M \sum_{J=1}^{256} \sum_{l=1}^{256} |I(X_i, Y_j) - S(X_i, Y_j)| e^{-2\pi i (u_n x_i - u_k y_j)} \quad \dots \quad (7)$$

$\Delta X \Delta Y$  : Pixel spacing horizontal and vertical

M : Number of ROI

S(X<sub>i</sub>, Y<sub>j</sub>) : Optionally Fitted – 2D Polynomial

I(X<sub>i</sub>, Y<sub>j</sub>) : Linearized Data

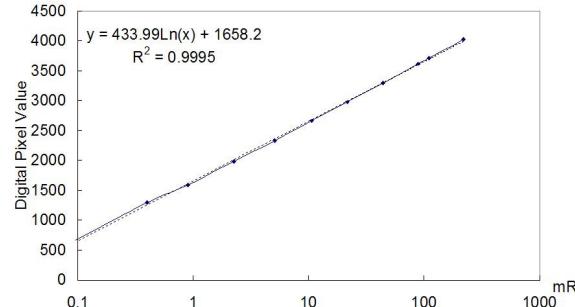
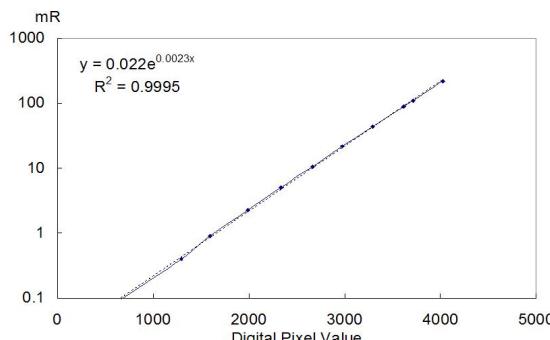


Fig. 2. Characteristic curve(RQA5) of Regius 150

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	3769	3760	3763	3766	3768	3764	3764	3761	3759	3754	3764	3773
2	3769	3768	3764	3765	3759	3768	3756	3771	3758	3766	3764	
3	3760	3763	3764	3771	3771	3761	3763	3765	3769	3759	3755	3761
4	3768	3764	3758	3766	3769	3770	3760	3761	3761	3753	3760	3760
5	3765	3764	3768	3763	3768	3771	3776	3773	3764	3759	3753	3764
6	3776	3764	3769	3771	3764	3760	3764	3763	3750	3749	3768	3775
7	3759	3765	3764	3766	3770	3759	3758	3766	3756	3759	3766	3764
8	3766	3770	3765	3761	3769	3754	3763	3765	3765	3765	3759	3765
9	3764	3758	3755	3764	3765	3756	3769	3771	3755	3768	3763	3760
10	3765	3760	3766	3760	3769	3765	3768	3768	3763	3768	3759	3771
11	3761	3773	3771	3761	3764	3775	3771	3763	3755	3768	3756	3760
12	3769	3766	3773	3759	3766	3770	3761	3763	3764	3763	3760	3766
13	3774	3763	3758	3773	3780	3763	3776	3766	3768	3754	3765	3765
14	3773	3769	3760	3771	3773	3770	3773	3768	3765	3754	3759	3768
15	3769	3769	3756	3766	3766	3763	3765	3754	3761	3760	3768	3775
16	3761	3758	3756	3765	3768	3761	3765	3768	3771	3756	3756	3770
17	3763	3760	3764	3764	3770	3760	3766	3764	3773	3773	3770	3760
18	3763	3764	3779	3763	3754	3760	3774	3768	3765	3776	3765	3751
19	3771	3761	3765	3766	3770	3764	3768	3770	3759	3766	3754	3756
20	3775	3769	3769	3764	3766	3761	3770	3761	3751	3765	3756	3760
21	3771	3770	3755	3768	3764	3769	3771	3763	3760	3764	3759	3756
22	3765	3764	3758	3751	3764	3776	3761	3759	3770	3764	3759	3764
23	3771	3768	3766	3766	3764	3764	3761	3764	3765	3756	3755	3760
24	3770	3771	3764	3775	3769	3765	3763	3770	3768	3760	3773	3759
25	3769	3774	3755	3761	3775	3776	3781	3764	3769	3770	3768	3763
26	3756	3766	3755	3761	3761	3761	3759	3766	3768	3764	3764	3760
27	3768	3768	3754	3768	3773	3765	3776	3776	3776	3769	3766	3764
28	3764	3764	3764	3771	3773	3775	3771	3769	3760	3771	3760	3763
29	3765	3763	3765	3755	3766	3764	3764	3759	3759	3761	3756	3755

Fig. 3. Pixel values of Wiener spectrum in ROI

여기에서 WS는 위너스펙트럼이고 M은 평균횟수로서 후에 설명하는 관심영역의 수이다. 또한, Nx, Ny는 각각 x, y 방향의 화소수,  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ 는 각각 x, y방향의 화소 빗치, U, V는 각각 x, y방향의 공간 주파수를 나타내며, DFT2D는 2차원 이산푸리에 변환을 나타낸다. 통상은 2 차원 고속 푸리에 변환(2D Fast Fourier Transform)을 이용한다.

(3), (4), (5), (6)식은 다소 복잡하게 보이나 실제로는 계산기가 실행하는 다수의 2차원 DFT결과의 평균에 계수 배의 곱셈을 할 뿐이다. (6)식에서와 같이 2차원 DFT 자체는 많은 프로그램에서 실행이 가능하다.

## 5. Excel로 실행하는 고속푸리에 변환법

Excel상에서 푸리에 변환을 하는 데에는 합을 구하는 이산 푸리에 변환법(DFT)과 고속 푸리에 변환법(FFT)이 있다. DFT의 특징은 원리를 이해하기 쉬워서 극단적으로 말하면 계산기만 가지고도 계산이 가능하다는 것이다. FFT는 편리한 방법이지만 원리를 알기 어렵다. 또한 FFT는 계산횟수를 대폭 감소시키기 때문에 짧은 시간에 계산이 가능하지만 MTF나 위너스펙트럼 계산 정도는 시간의 단축을 거의 인식할 수가 없다. 그리고  $2^n$  데이터만을 계산하기 때문에 데이터 범위를 결정할 때 주의가 필요하다. 또한 계산에 사용한 데이터의 개수와 데이터의 샘플링 거리로서 구해진 공간 주파수 간격이 다른 점도 주의할 필요가 있다.

그림 4는  $256 \times 256$  화상데이터에서 각각의 픽셀값을 평균값으로 정규화한 값들을 나타내었고<sup>10)</sup> 그림 5는 선량과 화소 값의 관계로 그림 2에 Regius 150의 디지털 특성곡선(RQA5)에 의해 선량으로 변환한 후 이를 정규화한 값들을 나타내고 있다. 즉 상대 노광량 변환을 한 값들을 보여준다.

그림 4에서는 평균값을 먼저 구해둔 디지털 특성곡선으로부터 상대노광량으로 변환한다. 먼저 구해둔 디지털 특성곡선의 1차 근사방정식을 구해서(그림 2) 그림 5에 상대노광량을 입력한다. 이를 위한 Excel 프로그램의 수식은 =0.022\*EXP(0.0023\*B3)이다.

그림 6에서는 선량에 대한 값을 평균선량으로 다시 나누어 주어서 두 번째 정규화를 수행하였다. 이렇게 하면 선량에 대한 상대치를 구할 수 있다.

그림 7의 DFT를 하려고 할 경우 주의해야 할 점은 전술한 바와 같이 DFT는  $2^n$  값을 계산하기 때문에 데이터를 256행까지 복사하여  $2^n$  데이터수로 만들어 준다. 그림 7의 경우  $2^8 = 256$ 개를 사용하였다. 총 256행까지 행과 열로 같이 DFT하기 위하여 Excel에서 입력범위 출력범위를 지정하고 OK 버튼을 마우스로 클릭하면 DFT가 실행되며 그림 8과 같이 작업시트(sheet)에 행과 열을 계산한 DFT 계수 값들이 입력된다.

그림 9에서는 그림 8의 계수들을  $256 \times 256$  데이터의 중앙인  $128 \times 128$ 을 기준으로 해서 상하 값을 바꾸어 입력하고 그리고 좌우 값을 바꾸어서 절대 값을으로 표현하였다. 통상 Excel에서 절대 값 함수는 ABS()를 사용하지만

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	1.007558	1.005152	1.005954	1.006756	1.00729	1.006221	1.006221	1.005419	1.004884	1.003548	1.006221	1.008627
2	1.007558	1.00729	1.006221	1.006488	1.004884	1.00729	1.004617	1.004082	1.008092	1.004617	1.006756	1.006221
3	1.005152	1.005954	1.006221	1.008092	1.008092	1.005419	1.005954	1.006488	1.007558	1.004884	1.003815	1.005419
4	1.00729	1.006221	1.004617	1.006756	1.007558	1.007825	1.005152	1.005419	1.005419	1.00328	1.005152	1.005152
5	1.006488	1.006221	1.00729	1.008954	1.00729	1.009429	1.008622	1.008622	1.004884	1.00328	1.006221	
6	1.009429	1.006221	1.007558	1.008092	1.006221	1.005152	1.006221	1.005954	1.002478	1.002211	1.00729	1.009162
7	1.004884	1.006488	1.006221	1.006756	1.007825	1.004884	1.004617	1.006756	1.004882	1.004884	1.006756	1.006221
8	1.006756	1.007825	1.006488	1.005419	1.007558	1.003548	1.005954	1.006488	1.006488	1.004884	1.006488	
9	1.006221	1.004617	1.003815	1.006221	1.006488	1.004082	1.007558	1.008092	1.003815	1.00729	1.005954	1.005152
10	1.006488	1.005152	1.006756	1.005152	1.007558	1.006488	1.00729	1.005954	1.00729	1.004884	1.008092	
11	1.005419	1.008627	1.008092	1.005419	1.006221	1.009162	1.008092	1.005954	1.003815	1.00729	1.004082	1.005152
12	1.007558	1.006756	1.008627	1.004884	1.006756	1.007825	1.005419	1.005954	1.006221	1.005954	1.005152	1.006756
13	1.008894	1.005954	1.004617	1.008627	1.0010498	1.005954	1.009429	1.006756	1.00729	1.003548	1.006488	1.006488
14	1.008627	1.007558	1.005152	1.008092	1.008627	1.007825	1.008627	1.00729	1.006488	1.003548	1.004884	1.00729
15	1.007558	1.007558	1.004092	1.006756	1.006756	1.005954	1.006488	1.003548	1.005419	1.005152	1.00729	1.009162
16	1.005419	1.004617	1.004082	1.006488	1.00729	1.005419	1.006488	1.00729	1.008092	1.004082	1.004082	1.007825
17	1.005954	1.005152	1.006221	1.006221	1.007825	1.006152	1.006756	1.006221	1.008627	1.008627	1.007825	1.005152
18	1.005954	1.006221	1.010231	1.005954	1.003548	1.005152	1.008894	1.00729	1.006488	1.009429	1.006488	1.002746
19	1.008092	1.005419	1.006488	1.006756	1.007825	1.006221	1.00729	1.007825	1.004884	1.006756	1.003548	1.004092
20	1.009162	1.007558	1.007558	1.006221	1.006756	1.005419	1.007825	1.005419	1.002746	1.006488	1.004092	
21	1.008092	1.007825	1.003815	1.00729	1.006221	1.007558	1.008092	1.005954	1.005152	1.006221	1.004884	1.004092
22	1.006488	1.006221	1.004617	1.002748	1.006221	1.009429	1.005419	1.004884	1.007825	1.006221	1.004884	1.006221
23	1.008092	1.00729	1.006756	1.006756	1.006221	1.005954	1.005419	1.006221	1.006488	1.004082	1.003815	1.005152
24	1.007825	1.008092	1.006221	1.009162	1.007558	1.006488	1.005954	1.007825	1.00729	1.005152	1.008627	1.004884
25	1.007558	1.008894	1.003815	1.005419	1.009162	1.009429	1.010768	1.006221	1.007558	1.007825	1.00729	1.005954
26	1.004082	1.006756	1.003815	1.005419	1.005419	1.004884	1.006756	1.00729	1.00729	1.006221	1.006221	1.005152
27	1.00729	1.00729	1.003548	1.00729	1.008627	1.006488	1.009429	1.009429	1.007558	1.006756	1.006221	
28	1.006221	1.006221	1.006221	1.008092	1.008627	1.009162	1.008092	1.007558	1.005152	1.008092	1.005152	1.005954
29	1.006488	1.005954	1.006488	1.003815	1.006756	1.006221	1.004884	1.005419	1.004082	1.003815		

Fig. 4. Normalized values by Excel program (Pixel values were divided by the average pixel value of  $256 \times 256$  image)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4	127.7004	126.531	124.7968	127.1144	127.9945	128.2892	125.3722	125.6609	125.6609	123.3699	125.3722
5	126.8223	126.531	127.7004	126.2403	127.7004	128.5846	130.0719	129.1775	126.531	125.0842	123.3699
6	130.0719	126.531	127.9945	128.5846	126.531	125.3722	126.531	126.2403	122.5216	122.2401	127.7004
7	125.0842	126.8223	126.531	127.1144	128.2892	125.0842	124.7968	127.1144	124.2241	125.0842	127.1144
8	127.1144	128.2892	126.8223	125.6609	127.9945	123.654	126.2403	126.8223	126.8223	126.0842	126.8223
9	126.531	124.7968	123.9387	126.531	126.8223	124.2241	127.9945	128.5846	123.9387	127.7004	126.2403
10	126.8223	125.3722	127.1144	125.3722	127.9945	126.8223	127.7004	126.2403	127.7004	125.0842	128.5846
11	125.6609	129.1775	128.5846	125.6609	126.531	129.7731	128.5846	126.2403	123.9387	127.7004	124.2241
12	127.9945	127.1144	129.1775	125.0842	127.1144	128.2892	125.6609	126.2403	126.531	126.2403	125.3722
13	129.4749	126.2403	124.7968	129.1775	131.2741	126.2403	130.0719	127.1144	127.7004	123.654	126.8223
14	129.1775	127.9945	125.3722	128.5846	129.1775	128.2892	129.1775	127.7004	126.8223	123.654	125.0842
15	127.9945	127.9945	124.2241	127.1144	127.1144	126.2403	126.8223	123.654	126.6609	125.3722	127.7004
16	125.6609	124.7968	124.2241	126.8223	127.7004	125.6609	126.8223	127.7004	128.5846	124.2241	128.2892
17	126.2403	125.3722	126.531	128.2892	125.3722	127.1144	126.531	129.1775	129.1775	128.2892	125.3722
18	126.2403	126.531	130.9725	126.2403	123.654	125.3722	129.4749	127.7004	126.8223	130.0719	126.8223
19	128.5846	125.6609	126.8223	127.1144	128.2892	126.531	127.7004	128.2892	125.0842	127.1144	123.654
20	129.7731	127.9945	127.9945	126.531	127.1144	125.6609	128.2892	125.6609	122.8037	126.8223	124.2241
21	128.5846	128.2892	123.9387	127.7004	126.531	127.9945	128.5846	126.2403	125.3722	126.531	125.0842
22	126.8223	126.531	124.7968	122.8037	126.531	130.0719	125.6609	125.0842	128.2892	126.531	125.0842
23	128.5846	127.7004	127.1144	127.1144	126.531	126.2403	125.6609	126.8223	124.2241	123.9387	125.3722
24	128.2892	128.5846	126.531	129.7731	127.9945	126.8223	126.2403	128.2892	127.7004	125.3722	129.1775
25	127.9945	129.4749	123.9387	125.6609	129.7731	130.0719	131.5763	126.531	127.9945	128.2892	127.7004
26	124.2241	127.1144	123.9387	125.6609	125.0842	127.1144	127.7004	127.7004	126.531	125.3722	126.531
27	127.7004	127.7004	126.354	127.7004	129.1775	126.8223	130.0719	130.0719	129.7731	127.9945	127.1144
28	126.531	126.531	128.5846	129.1775	129.7731	128.5846	127.9945	125.3722	128.5846	125.3722	126.2403
29	126.8223	126.2403	126.8223	123.9387	127.1144	126.531	125.6609	125.0842	125.6609	124.2241	123.9387
30	128.5846	127.7004	125.3722	127.1144	127.7004	129.1775	126.8223	126.531	129.1775	126.8223	126.531
31	125.6609	127.9945	127.7004	126.531	124.7968	126.531	124.2241	123.3699	128.2892	129.1775	127.1144
32	129.7731	127.9945	129.7731	126.8223	130.6716	126.531	130.0719	126.2403	128.2892	130.9725	125.3722

Fig. 5. Dose values converted from pixel values

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	1.066524	1.044674	1.051907	1.05919	1.064074	1.054329	1.054329	1.047079	1.042274	1.030356	1.054329
2	1.066524	1.064074	1.054329	1.056757	1.042274	1.064074	1.039879	1.035107	1.071441	1.039879	1.05919
3	1.044674	1.051907	1.054329	1.071441	1.071441	1.047079	1.051907	1.056757	1.066524	1.042274	1.032729
4	1.064074	1.054329	1.039879	1.05919	1.066524	1.06898	1.044674	1.047079	1.027989	1.044674	1.044674
5	1.056757	1.054329	1.064074	1.051907	1.064074	1.071441	1.038384	1.035129	1.042274	1.027989	1.054329
6	1.083834	1.054329	1.066524	1.071441	1.054329	1.046474	1.054329	1.051907	1.020924	1.018575	1.064074
7	1.042274	1.056757	1.054329	1.05919	1.06898	1.042274	1.039879	1.05191	1.035107	1.042274	1.056757
8	1.05919	1.06898	1.066757	1.047079	1.066524	1.030356	1.051907	1.056757	1.056757	1.042274	1.056757
9	1.054329	1.059879	1.032729	1.054329	1.056757	1.035107	1.066524	1.071441	1.052729	1.064074	1.044674
10	1.056757	1.044674	1.05919	1.044674	1.066524	1.056757	1.056757	1.040474	1.051907	1.064074	1.071441
11	1.047079	1.076381	1.071441	1.047079	1.054329	1.081344	1.071441	1.051907	1.032729	1.064074	1.035107
12	1.066524	1.05919	1.076381	1.042274	1.05919	1.06898	1.047079	1.051907	1.042274	1.05919	1.05919
13	1.07886	1.051907	1.039879	1.076381	1.093851	1.051907	1.038384	1.05191	1.064074	1.030356	1.056757
14	1.076381	1.066524	1.044674	1.071441	1.076381	1.06898	1.076381	1.064074	1.056757	1.030356	1.042274
15	1.066524	1.066524	1.035107	1.05919	1.05919	1.051907	1.056757	1.030356	1.047079	1.044674	1.081344
16	1.047079	1.039879	1.035107	1.056757	1.064074	1.047079	1.056757	1.071441	1.035107	1.035107	1.06898
17	1.051907	1.044674	1.054329	1.054329	1.05919	1.044674	1.051907	1.056757	1.056757	1.076381	1.044674
18	1.051907	1.054329	1.093851	1.076381	1.081344	1.046474	1.07886	1.064074	1.056757	1.083834	1.056757
19	1.051907	1.054329	1.093851	1.051907	1.030356	1.046474	1.07886	1.064074	1.056757	1.023271	1.023271
20	1.071441	1.047079	1.056757	1.05919	1.06898	1.054239	1.064074	1.06398	1.042274	1.05919	1.035107
21	1.091344	1.066524	1.066524	1.054329	1.05919	1.047079	1.06898	1.047079	1.023271	1.056757	1.044674
22	1.071441	1.06898	1.032729	1.064074	1.054329	1.066524	1.071441	1.051907	1.044674	1.054329	1.036107
23	1.056757	1.054329	1.039879	1.023271	1.054329	1.083834	1.047079	1.047079	1.042274	1.054329	1.054329
24	1.071441	1.064074	1.05919	1.032729	1.076381	1.081344	1.046474	1.051907	1.042274	1.05919	1.05919
25	1.054329	1.054329	1.071441	1.071441	1.066524	1.081344	1.046474	1.071441	1.051907	1.044674	1.051907
26	1.056757	1.051907	1.056757	1.032729	1.05919	1.054329	1.042274	1.042274	1.042274	1.035107	1.032729

Fig. 6. Normalized values of dose

A	B
1	965721
2	-3533.8859199391-3437.515817261891
3	923.12807162153-3257.99448693681
4	2063.16592138706-564.0242595783271
5	547.372986666666+129+151+41.8080454781
6	-1066.023232939479-27.9495095811381
7	-104.79268120476-1121.02722673834
8	113.153341544688-382.099386273661
9	583.968710362465+721.069597685481
10	-568.534476003586+856.6471150001371
11	-754.438440624962-400.581815564848
12	121.8844428023034-593.5161656291741
13	623.702609740478-23.310478590635921
14	-218.63997597907304.1546080194671
15	-626.775257763347-154.6500240054891
16	57.8156848331722-709.2504130702171
17	610.171745223039-169.2237593807631
18	347.4342475817187+293.2841984695361
19	-253.26363255591+202.971315523011
20	-423.55220508396-280.879929569991
21	50.5029442773805-307.152041245851
22	284.742958311978+1.86278046858351
23	50.285827774779+11.6158178622311
24	-228.744655994694-145.9748211037461
25	-123.836759054002-329.5224482286461
26	162.074965450115.9958541010781

Fig. 7. Wiener spectrum calculation by DFT



Fig. 8. Power spectrum from DFT coefficients

DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY	DZ	EA	EB	EC	ED	ED
114	169,2451	105,8642	296,5508	374,1339	584,9269	1114,852	966050	1114,852	584,9269	374,1339	296,5508	105,8642
115	88,85135	340,1577	251,9273	343,3342	530,0417	1073,888	965767	1073,888	530,0417	343,3342	251,9273	340,1577
116	192,2536	316,6469	283,152	365,9496	475,3339	1055,938	965647	1055,938	475,3339	365,9496	283,152	316,6469
117	275,008	296,1577	253,5738	255,0188	569,2572	1246,989	965796	1246,989	569,2572	255,0188	253,5738	296,1577
118	239,0431	229,5873	240,9573	342,3217	444,2249	1109,781	966290	1109,781	544,2249	342,3217	240,9573	229,5873
119	86,85715	216,9308	111,1001	436,4254	445,5303	1104,483	965649	1104,483	445,5303	436,4254	111,1001	216,9308
120	145,2288	318,5804	276,1379	434,2412	618,2791	1080,358	965571	1080,358	618,2791	434,2412	276,1379	318,5804
121	145,9399	364,0406	124,1209	514,5842	614,4237	976,5799	965542	976,5799	614,4237	514,5842	124,1209	364,0406
122	209,8995	393,4484	240,9573	477,95	534,2407	977,4676	965821	977,4676	534,2407	477,95	143,9769	393,4484
123	118,6611	301,8733	164,0098	348,4016	628,3022	907,7632	965612	907,7632	628,3022	346,4016	164,0098	301,8733
124	211,2509	274,5896	233,3531	327,3139	488,9066	940,389	965966	940,389	488,9066	327,3139	233,3531	274,5896
125	49,8175	99,59252	209,1046	277,4835	625,0447	1145,02	965972	1145,02	625,0447	277,4835	209,1046	99,59252
126	192,2568	202,0409	159,4643	500,0369	618,3348	1181,661	966138	1181,661	618,3348	500,0369	159,4643	202,0409
127	228,0587	306,7318	142,6186	520,9447	536,3383	1235,867	965907	1235,867	536,3383	520,9447	142,6186	306,7318
128	85,61497	316,3946	165,5448	387,4443	679,4467	1137,028	965506	1137,028	679,4467	387,4443	165,5448	316,3946
129	201,5459	164,8638	221,0846	428,5398	786,2651	1463,683	46	41,29203	8,961298	62,75545	25,29872	94,95178
130	119,0522	314,2288	160,9891	595,781	789,0804	1714,325	28	58,68518	77,12573	31,1368	31,0274	102,0416
131	313,875	133,649	252,0323	458,0943	610,1247	1525,162	92	53,47163	24,25316	35,98827	53,58134	150,9104
132	227,8767	112,3756	394,9061	363,0969	826,5256	1506,618	5	24,01892	52,18183	74,58081	89,3369	47,56161
133	147,86	214,2668	364,129	373,134	702,1501	1547,139	33	40,52838	129,5782	55,67542	126,1329	24,30398
134	191,7526	207,4781	275,4976	369,2906	649,0282	1572,445	26	93,62905	91,58139	40,52909	69,27015	69,7116
135	143,5433	170,6123	152,4007	337,2054	683,2884	1644,777	29	56,48863	41,3561	57,93368	70,00777	35,9554
136	484,1939	270,9196	350,7722	373,5332	646,9336	1614,235	3	17,71119	24,27614	37,85254	41,37435	70,64032
137	248,8814	245,5346	327,1471	417,7059	665,69	1673,966	82	49,90668	44,49083	101,701	36,81815	72,86394
138	257,9214	204,5512	400,7637	421,9526	858,8229	1629,652	14	37,55577	26,29221	53,66481	49,02706	28,26634
139	217,7421	212,1916	308,8263	381,1846	908,7138	1667,228	8	26,87585	50,86751	47,2221	84,90588	47,6947
140	285,0961	171,4731	314,0702	404,0768	850,7286	1586,407	15	38,13391	9,697923	52,49441	3,201276	36,10466
141	260,3585	115,949	354,2541	430,4834	684,8498	1590,228	7	44,32548	68,67367	51,45226	36,54593	16,18763
142	255,453	161,0459	397,1735	384,865	680,7724	1783,136	54	52,35626	27,25769	79,70185	50,04918	55,47075

Fig. 9. Rotated magnitude values of DFT coefficients so that the center position can represent the magnitude of DC coefficient

본 연구의 경우 절대값을 취해야 할 데이터가 DFT 계수들이므로 복소수의 절대 값을 내는 함수 IMABS()를 사용하였다. 이를 Excel 명령으로 표현한다면 =IMABS(행 DFT! Fig. 8에 나온 행과 열 시트)하고 할 수 있다.

그림 10의 값들은 공간주파수의 피치(pitch)를 나타내며 식 (8)로 구할 수 있다.

공간주파수 피치 =  $1 \div (\text{DFT에 사용한 데이터 수} \times \text{샘플링 간격})$  ..... (8)

샘플링 간격은 픽셀의 크기가 아니고 합성 MTF을 작성 할 때의 간격이다. Fig. 10에서와 같이 B열의 17행의 값을

구하려면 =1/(256\*0.175)의 Excel 명령을 수행하여 0.022321이라는 답을 얻을 수 있다. 여기에 공간주파수와 평균값을 세로로 나열하고 다시 파워 값을 구한다. 위에서 언급한 예제에서는 =B20^2함수를 이용하여 값을 구하고 그 밖의 데이터 값들도 이 수식을 해당 위치에 복사해서 구하면 된다. 그리고 마지막으로 위너스펙트럼 값을 구하기 위해서 =C20\*(1/(256\*1))\*(0.175^2)함수식을 이용하면 된다.

(Pixel : 256 × 256) 이미지를 가지고 하나의 픽셀을 1로 보고 전체 크기를 1이라고 보고 나누어준 다음 픽셀 전체 크기는 0.175의 제곱으로 보고 곱해준다. 그리고 그 값을 평균값으로 나누어주면 그림 11, 12와 같이 위너스펙트럼 값을 도달할 수 있다.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	255,635	3,97462	2,1311	1,97068	0,94182	0,81006	0,73787	0,84645	0,36951	0,52405	0,72193	
2	254,624	3,74082	2,23432	2,01595	1,08648	0,94046	1,07084	0,64985	0,55441	0,12858	0,42199	
3	255,429	3,42758	1,87699	2,07226	1,2815	1,07706	0,64739	0,4432	0,72001	0,62245	0,72875	
4	255,927	3,81397	2,21525	1,8898	1,33862	0,70353	0,91954	0,42398	0,70519	0,60102	0,75576	
5	255,873	3,76984	2,19034	2,46798	1,01397	0,26932	0,71673	0,47341	0,66512	0,84519	0,78125	
6	255,775	3,71668	2,21193	1,97198	1,32447	0,77261	0,73451	0,67516	0,33674	0,69428	0,62421	
7	254,423	4,04838	2,0618	1,91628	1,50885	0,62888	1,05498	0,92848	0,51854	0,6198	0,58102	
8	255,517	4,26928	2,45872	1,59611	1,16996	0,6744	1,06104	0,84425	1,09802	0,58294	0,60376	
9	254,95	4,75943	2,48141	1,84495	1,12294	1,23923	1,02341	0,87873	0,89071	0,89233	0,67776	
10	254,356	4,38964	2,95472	1,63369	0,82581	0,80051	1,21435	0,81738	0,61721	0,5374	0,45882	
11	255,024	4,56726	2,4541	1,722	0,67881	1,2258	1,04145	0,70189	0,64191	0,96606	0,62813	
12	255,058	4,98383	2,94301	2,0739	1,16952	1,41467	0,72347	0,59703	0,36923	0,73311	0,69107	
13	255,318	4,3811	2,84909	1,78892	1,21892	0,93151	0,78635	0,38227	0,56088	0,59227	0,84618	
14	254,667	4,52609	2,37933	1,58948	1,12203	1,22048	0,9222	0,21513	0,43788	0,61325	0,78203	
15												
16	평균값	255,184	4,16918	2,38158	1,896713	1,128834	0,907751	0,903866	0,633801	0,606097	0,63948	0,664449
17	공간주파수	0,022321	0,044643	0,066964	0,089286	0,111607	0,133929	0,15625	0,178571	0,200893	0,223214	0,245536
18												
19	공간주파수	평균값	파워값		WS(mm <sup>2</sup> )							
20	0	255,0243	65037,39		1,77803524							
21	0,022321	4,567258	20,85984		2,0002495							
22	0,044643	2,454099	6,022603		3,000072							
23	0,066964	1,721996	2,965272		4,0000355							
24	0,089286	0,678806	0,460778		5,551E-05							
25	0,111607	1,225804	1,502595		6,000018							
26	0,133929	1,041453	1,084624		7,000013							
27	0,15625	0,701891	0,492651		8,589E-05							
28	0,178571	0,64191	0,412049		9,493E-05							
29	0,200893	0,966057	0,933266		10,0000112							

Fig. 10. Pitch and power of spatial frequency

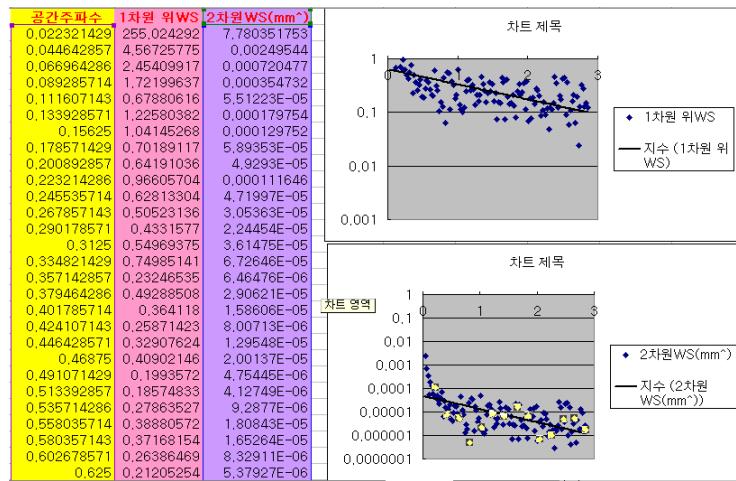


Fig. 11. Spatial frequency, 2D Wiener spectrum results and their plots

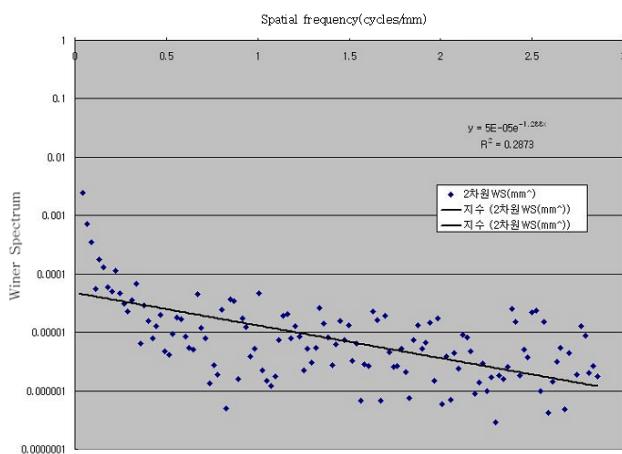


Fig. 12. Results of 2D Wiener spectrum

### III. 결 론

해상특성, 노이즈특성을 나타내는 의료영상평가 요소들은 개념이 어렵고 계산방법이 복잡하여 특정한 프로그램을 제작 사용하여야만 구할 수 있기에 일반적으로 사용함에 제한이 되고 있다. 본 논문에서는 노이즈를 정량적으로 나타내는 위너스펙트럼을 고유의 특별한 프로그램 없이 산출하는 과정과 방법을 제시하였다.

획득된 노이즈 평가의 결과는 화상계의 노이즈를 측정하는데 이용할 수 있을 뿐만 아니라 DQE의 산출에도 활용될 수 있을 것이다. 아울러 평가 파라미터 측정 기술은 교육현장에서 위너스펙트럼의 개념을 교육하거나 임상 환경에서 시설에 알맞은 디지털 영상 검출기를 선택하고 디

지털 영상 시스템의 영상품질을 유지 보수하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

1. S, Katsurakawa : 醫用畫像情報學, 南山堂, 92~103, 2006
2. A, Otsuka : 實驗畫像評價, メディカルトリビューン, 45~49, 1994
3. H, Hujita : デジタルラジオグラフィの画像評価, 日本放射線技術學會, 83~8
4. International Electrotechnical Commission. Medical electrical equipment – Characteristics of digital X-ray imaging devices–Part 1 : determination of the detective quantum efficiency. IEC 62220-1, 2003
5. International Electrotechnical Commission. Medical diagnostic X-ray equipment – radiation conditions for use in the determination of characteristics. IEC 61267, 1994
6. James T. Dobbins III, David L. Ergun, Lois Rutz, Dean A, Hinshaw, Hartwig Clark, Dwayne C : DQE(f) of four generations of computed radiography acquisition devices. Medical Physics 22(10), 1581-1593, 1995
7. E Samei, MJ Flynn, DA Reimann : A method for measuring the presampled MTF of digital radiographic systems using an edge test device. Medical Physics 25(1), 102-113, 1998
8. PB Greer, T van Doorn : Evaluation of an algorithm for the assessment of the MTF using an edge method. Medical Physics 27, 2048-2059, 2000
9. 김정민, 정회원, 민정환, 임은경 : Correction Method of Slit Modulation Transfer function on Digital Medical Imaging System 방사선 기술과학, 29(3), 133-139, 2006
10. 김정민 외 7인 : 방사선영상정보학, 신광출판사, 313~321, 2006

### • Abstract

## Correction Method of Wiener Spectrum (WS) on Digital Medical Imaging Systems

Jung-Min Kim · Ki-Sung Lee · You-Hyun Kim

*Dept. of Radiologic Science, College of Health Sciences, Korea University*

Noise evaluation for an image has been performed by root mean square (RMS) granularity, auto-correlation function (ACF), and Wiener spectrum. RMS granularity stands for standard deviation of photon data and ACF is acquired by integration of 1D function of distance variation. Fourier transform of ACF results in noise power spectrum which is called Wiener spectrum in image quality evaluation. Wiener spectrum represents noise itself. In addition, along with MTF, it is an important factor to produce detective quantum efficiency (DQE). The proposed evaluation method using Wiener spectrum is expected to contribute to educate the concept of Wiener spectrum in educational organizations, choose the appropriate imaging detectors for clinical applications, and maintain image quality in digital imaging systems.

**Key Words :** Wiener spectrum (WS), Noise power spectrum (NPS), Discrete Fourier Transform (DFT)