▸종 설◂ ISSN 1226-2854

디지털 의료영상에서 슬릿법에 의한 Modulation Transfer Function의 보정방법

— Correction Method of Slit Modulation Transfer function on Digital Medical Imaging System —

고려대학교 보건과학대학 · 인제대학교 서울백병원[1] · 상계백병원[2] · 원자력의학원[3]

김정민 · 정회원[1] · 민정환[2] · 임은경[3]

— 국문초록 —

디지털 X선영상으로 출력한 화상데이터를 Personal Computer로 가져와서 디지털 특성곡선, MTF, 위너스펙트럼을 계산할 수가 있다. 여기서는 디지털화상의 선예도를 후지타(藤田) 등의 이론에 의한 프리샘플링(presampling) Modualtion Transfer Function(MTF)을 산출하고 보정하는 방법에 대하여 검토하였다. 사용한 프로그램은 엑셀이며 슬릿의 촬영, 디지털 특성곡선, 합성 LSF법, 이산 퓨리어 변환, 고속 퓨리어 변환 등의 순서로 기술하였다.

이 방법의 커다란 장점은 퓨리어트랜스폼의 공식과 MTF 산출과정을 완전히 이해할 수 있다는 점과, 별도로 값비싼 프로그램이나 컴퓨터언어를 배우지 않았어도 MTF 결과를 산출할 수가 있다는 것이다. 그리고 워크시트 표시되는 엑셀의 장점을 그대로 살려 X선 영상계의 오류나 산출결과의 부적합성을 발견하기 쉽다는 점이다.

중심 단어: 디지털 의료영상, 선예도, LSF, MTF

Ⅰ. 서 론

X선 영상의 선예도를 나타내는 대표적 물리량으로서 MTF(Modulation Transfer Function)가 있다. 이 MTF 측정법에는 구형파(矩形波) 차트법, 슬릿법, 엣지법 등이 있는 것은 잘 알려져 있다. 이러한 물리적 평가에는 고가의 공학적 프로그램이 이용되며 주로 연구실차원에서 이루어져 왔다. 한편 임상에서 디지털화상을 다루는 방사선사들도 화상평가의 필요성은 절감하면서도 몇 가지 제약이 있어 어려움을 겪어 왔다. 그것은 퓨리어변환 등 이론이 어렵고 컴퓨터 언어 등을 따로 공부해야 하기 때문이다.

종래 증감지/필름 계의 MTF측정에는 구형파 차트법과 슬릿법 등이 이용되어 왔다. 최근 디지털 X선 장비의 보급으로 CR(Computed Radiograph)이나 FPD(Flat Panel Detector)가 일상적으로 임상에 사용되고 있다. 디지털 X선 영상은 DICOM규격으로 출력한 화상데이터를 PC(Personal Computer)에 옮겨 올 수가 있어 그 디지털데이터를 이용

* 이 논문은 2006년 7월 25일 접수되어 2006년 9월 22일 채택 됨.

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

한다면 디지털 특성곡선, MTF, 위너스펙트럼을 계산할 수가 있다. 여기서는 디지털화상의 선예도를 후지타(藤田) 등의 이론에 의한 프리샘플링(presampling) Modualtion Transfer Function(MTF)를 산출하고 보정하는 방법에 대하여 보고한다. 사용하는 프로그램은 엑셀이며 슬릿의 촬영, 디지털 특성곡선, 합성 LSF법, 이산 퓨리어 변환, 고속 퓨리어 변환 등의 순서로 기술한다.

Ⅱ. 프리샘플링 MTF를 얻는 방법

1. 디지털 특성곡선

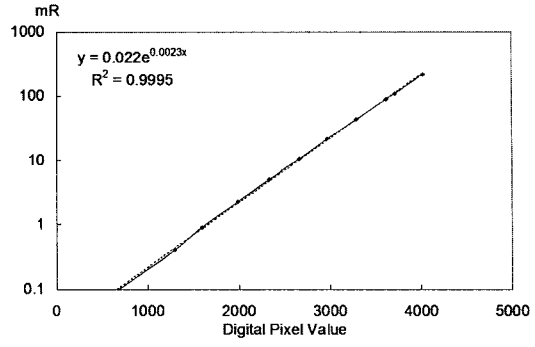
아날로그계나 디지털계에 있어서 MTF를 측정하고자 하는 경우 선형화의 수단으로서 정확한 특성곡선을 구할 필요가 있다[1]. X선 검출기에 입사한 상대노광량의 대수를 횡축에 잡고, A/D 변환 후의 디지털 값을 종축에 플롯한 입출력 특성을 디지털 특성곡선이라고 부른다. 특성곡선의 디지털 값은 PC에 불러온 데이터(DICOM 파일)을 NIH-Image의 JAVA판에 있는 Iamge J라고 하는 소프트웨어로 간단히 열수가 있다. 불러온 화상의 관심영역(ROI)를 잡아 「Analyze」 → 「Measure」를 선택하면 ROI내의 최대, 최소, 평균디지털 값을 알 수 있다[2]. 디지털의 경우 증감지/필름 계와 달리 상반법칙이 성립하기 때문에 Time Scale 법에 의한 측정을 한다. CR나 FPD는 103 정도의 다이나믹 레인지를 가지고 있기 때문에 넓은 범위로 선량을 변화시킬 필요가 있다[3]. MTF의 계산에서는 슬릿상의 디지털 값을 상대노광량으로 변화해야 하기 때문에 횡축에 디지털 값, 종축에 상대노광량을 잡은 그래프도 그리고 근사함수를 작성해둔다(Figure 1). 그래프의 편향계수 R의 2승은 (R은 선형상관계수) 1차의 근사방정식에 대한 것이다.

2. 슬릿의 촬영

슬릿을 촬영할 때에는 X선관과 슬릿의 얼라인먼트가 중요하다. 폭 10 μm의 슬릿을 놓고 회전 또는 좌우 이동시키면서 얼라인먼트를 조정하여 촬영한다. 슬릿상은 센터 얼라인먼트 또는 쉬프트 얼라인먼트를(수직에서 2~3°) 채택한다(Figure 2).

3. 슬릿상으로 부터 디지털 데이터 획득

슬릿상으로 부터 디지털 데이터를 얻는 순서는 Figure 2의 슬릿상으로부터 계산에 필요한 관심 영역(ROI)를 잡아 Image J 등으로 열어서 텍스트 데이터로 저장한다. 저장한 파일을 Excel에서 열면 Figure 3에 나타난 것과 같은 슬릿상의 디지털 데이터가 얻어진다.



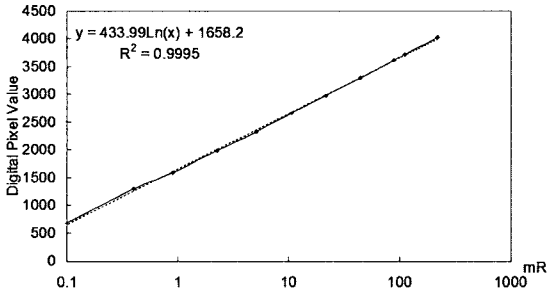


Figure 1. Redius 150의 디지털 특성곡선(RQA 5)

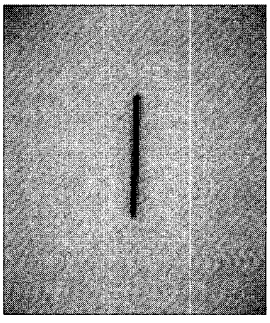


Figure 2. Angled Slit image(2.54°)

4. 합성 Line Spread Function

슬릿을 주사 방향에 대하여 수직 또는 수평방향으로 약간의 각도를 주어 여러 가지 얼라인먼트의 LSF(Line Spread Function)을 얻는다. 일례로서 주사방향에 대하여 수직한 방향으로 슬릿을 배치한 경우의 개략을 Figure 4에 나타내었다. Figure 4에서는 A, B, C, D의 4개의 얼라인먼트를 나타내고 있으며 이들 4개의 다른 얼라인먼트의 LSF이 얻어진다(Figure 4).

	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL
1	1712	1723	1712	1772	1764	1807	1839	2125	2387	1943	1790	1761	1761	1738	1746	1735
2	1700	1685	1726	1767	1770	1862	1868	2808	3416	2107	1845	1772	1790	1723	1712	1712
3	1680	1697	1677	1743	1732	1868	1894	2902	3614	2310	1906	1784	1764	1743	1671	1685
4	1723	1743	1726	1799	1813	1897	1987	3110	3588	2314	1946	1799	1775	1752	1738	1746
5	1712	1714	1697	1772	1799	1917	2007	3155	3536	2279	1961	1810	1816	1743	1714	1738
6	1743	1723	1746	1752	1770	1932	1984	3141	3525	2233	1946	1790	1781	1746	1712	1668
7	1749	1723	1723	1775	1799	1888	1999	3131	3500	2198	1943	1813	1816	1752	1723	1680
8	1706	1712	1746	1828	1770	1929	2069	3291	3434	2114	1952	1842	1833	1735	1714	1697
9	1677	1688	1714	1775	1793	1897	2013	3176	3488	2191	1981	1816	1810	1723	1752	1680
10	1685	1772	1712	1775	1807	1952	2085	3364	3450	2114	1949	1819	1804	1726	1706	1685
11	1691	1764	1685	1755	1781	1935	2085	3373	3400	2132	1923	1799	1810	1738	1743	1706
12	1683	1685	1697	1775	1790	1970	2107	3397	3426	2121	1938	1787	1787	1683	1729	1700
13	1671	1726	1677	1801	1833	1955	2125	3429	3334	2081	1943	1787	1758	1703	1741	1680
14	1680	1712	1761	1830	1825	1958	2153	3475	3266	2031	1929	1764	1767	1680	1691	1663
15	1659	1758	1758	1770	1772	1961	2088	3453	3368	2062	1897	1741	1758	1648	1683	1677
16	1697	1767	1761	1784	1830	1946	2205	3516	3214	2019	1880	1752	1819	1741	1714	1671
17	1674	1735	1694	1787	1819	1917	2240	3543	3159	2013	1943	1772	1790	1743	1714	1668
18	1659	1720	1741	1755	1813	1923	2230	3520	3120	2013	1891	1743	1778	1723	1677	1639
19	1656	1677	1732	1778	1816	1952	2258	3556	3078	2004	1912	1755	1796	1685	1726	1685
20	1671	1688	1743	1752	1848	1929	2352	3588	2997	1999	1923	1772	1772	1761	1758	1703
21	1671	1697	1720	1746	1790	1906	2251	3525	3102	2013	1877	1781	1770	1714	1694	1642
22	1677	1694	1749	1790	1796	1958	2342	3592	3011	1996	1914	1810	1770	1752	1717	1659
23	1694	1723	1761	1830	1859	1949	2405	3590	2688	1972	1903	1799	1741	1668	1706	1709
24	1674	1697	1723	1822	1856	1938	2419	3620	2933	1987	1865	1743	1758	1697	1691	1671
25	1668	1674	1726	1764	1842	1958	2485	3638	2850	1984	1894	1799	1778	1677	1683	1691
26	1706	1688	1758	1793	1801	1897	2539	3624	2755	1984	1877	1778	1784	1712	1703	1700
27	1677	1706	1735	1775	1822	1943	2429	3600	2680	1955	1859	1746	1726	1706	1674	1665
28	1697	1703	1735	1787	1848	1923	2577	3635	2713	1958	1859	1761	1787	1717	1668	1683
29	1691	1761	1755	1778	1848	1926	2626	3620	2633	1993	1842	1764	1755	1749	1720	1668
30	1709	1712	1743	1749	1810	1958	2656	3620	2607	1961	1897	1778	1738	1688	1700	1683
31	1706	1712	1770	1793	1833	1926	2717	3610	2510	1914	1842	1775	1732	1729	1700	1688
32	1700	1700	1764	1799	1868	1941	2743	3610	2496	1949	1836	1764	1755	1717	1656	1703
33	1685	1677	1764	1807	1833	1917	2675	3640	2580	1929	1828	1781	1738	1680	1656	1665
34	1685	1685	1741	1755	1894	1964	2812	3572	2426	1929	1854	1804	1712	1697	1677	1694
35	1706	1680	1714	1793	1885	1929	2695	3584	2363	1946	1848	1822	1781	1714	1683	1709
36	1677	1736	1743	1770	1906	1923	2805	3592	2380	1929	1828	1799	1772	1680	1683	1677
37	1729	1732	1770	1784	1903	1955	2993	3578	2324	1929	1799	1767	1732	1685	1665	1738
38	1726	1735	1801	1807	1920	1967	3085	3534	2279	1935	1787	1784	1720	1694	1654	1700

Figure 3. Digital Values from Angled Slit(Excel)

이 그림에서는 각 LSF은 샘플링 간격이 Δx의 5개의 디지털 값으로 구성되어 있다. 한편 이 열에는 쉬프티드(또는 센터) 얼라인먼트로부터 쉬프티드(또는 센터) 얼라인먼트 사이에 4개의 픽셀이 존재하기 때문에 합계 20개의 데이터를 Δx/4의 샘플링 간격으로 합성하면 샘플링 간격이 작은 합성 LSF이 얻어진다[4].

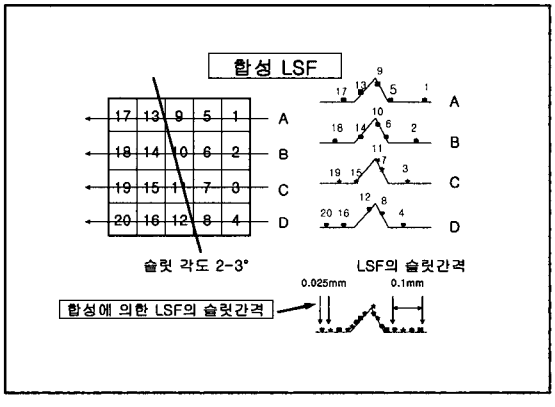


Figure 4. Line spread Function much finer sampling from Angled Slit

5. LSF의 퓨리어 변환

광학 전달함수 $OTF(\mu)$는 선상강도분포(LSF)의 퓨리어 변환으로 정의된다(식 1).

$$OTF(\mu) = \int_{-\infty}^{\infty} LSF(x)e^{-i2\pi\mu x} \quad \cdots\cdots (1)$$

또한 식 (1)은 오일러식으로 표현하면

$$A - iB = \mid OTF(\mu) \mid e^{-i\delta\mu x} \quad \cdots\cdots (2)$$

$$A = \int LSF(x)cos(2\pi\mu x)dx \quad \cdots\cdots (3)$$

$$B = \int LSF(x)sin(2\pi\mu x)dx \quad \cdots\cdots (4)$$

이 된다. MTF는 OTF(LSF의 퓨리어 변환)의 절대값으로서 때문에

$$MTF(\mu) = \mid OTF(\mu) \mid = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \cdots\cdots (5)$$

$$\delta\mu = tan^{-1}B/A \quad \cdots\cdots (6)$$

로 정의 된다. 단, u는 공간 주파수, δu는 위상이다.

MTF는 스펙트럼의 진폭을 구하는 것이기 때문에 이 경우 각각의 주파수 성분의 초기 위상은 알 수 없다.

6. 이산 퓨리어 변환

합성 LSF법에 의해 샘플링 간격을 좁게 하여도 이산적 분포임에 틀림없으므로 이산 퓨리어 변환(Discrete Fourier

Transform : DFT)을 하여야 하며 다음과 같이 표현한다.

$$OTF(\mu) = \frac{1}{N}\sum_{N=0}^{N-1} LSF(n)e^{-n\mu(2\pi/N)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

(μ = 0,1, -----, N-1)

식 (7)을 실수부와 허수부로 나누어 표시하면

$$a = \frac{1}{N}\sum_{N=0}^{N-1} LSF(n)\cdot cos(2\pi\mu n/N) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

$$b = \frac{1}{N}\sum_{N=0}^{N-1} LSF(n)\cdot sin(2\pi\mu n/N) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

(μ: 공간주파수, n: LSF의 위치, N: 세그멘트 수)

MTF는 아날로그와 마찬가지로 실수부와 허수부의 크기로 (4) 식과 같이 된다.

$$MTF = |OTF| = \sqrt{a^2+b^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

Ⅲ. Excel에 의한 MTF곡선의 보정방법

Excel상에서 MTF를 산출하기 위하여 퓨리어 변환을 하는 데에는 식 (8)과 식 (9)의 합을 구하는 이산퓨리어 변환법과 고속퓨리어변환법(FFT)이 있다.

이산퓨리어 변환의 특징은 퓨리어변환의 과정을 이해하기 쉽다는 점과 극단적으로 말하면 계산기만 가지고도 계산이 가능하다는 것이다. FFT는 계산횟수를 대폭 감소시키기 때문에 짧은 시간에 계산이 가능하지만 우리가 산출하고자 하는 MTF 계산정도는 시간의 단축을 거의 인식할 수가 없다. 또한 계산에 사용한 데이터의 갯수와 데이터의 샘플링 거리로서 구해진 공간 주파수 간격이 다른 점도 주의가 필요하다.

1) Excel에 입력(이산 퓨리어 변환)

■ A열 : 실효 샘플링 간격(mm)

우선 A열에는 슬릿의 실효샘플링 간격을 입력한다. 센터얼라인먼트(쉬프티드얼라인먼트)와 센터얼라인먼트(쉬프티드얼라인먼트)의 개수로서 1개의 픽셀 사이즈를 나누면 얻어진다. 여기서는 23개이므로 0.175 ÷ 23 = 0.007609 (mm)가 된다. A4열에 이 결과를 입력한다.

■ B열 : Digital Pixel Value(슬릿의 디지털 값)

B열에는 슬릿 디지털 값을 입력한다. 셀 B3로부터 합성 LSF을 작성한 순서대로(Figure 4 열로부터 순서대로) 마지막 셀까지 디지털 값을 입력한다.

■ C열 : 상대 노광량 변환

C열에는 B열의 슬릿 디지털 값을 먼저 구해둔 디지털

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	실효 Sampling간격 0.175(PixelSize) ÷ 23 = 0.7609									
2	실효 샘플링 간격	Digital Pixel Value	상대노광량	정규화(LSF)	외삽LSF	DFT(COS)	DFT(SIN)	공간주파수	Σ(cos)	Σ(sin)
3	0	1703	1.105378	0.01167273	0.0001	0.0001	0	10	0.1406534	0.1837398
4	0.007609	1735	1.189802	0.01256425	0.00010115	8.98E-05	4.65E-05	SQRT	0.2313951	
5	0.015218	1758	1.254437	0.01324679	0.0001023	5.899E-05	8.36E-05			
6	0.022827	1729	1.173496	0.01239205	0.00010348	1.408E-05	0.000103	공간주파수	MTF	MTF정규화
7	0.030436	1706	1.113031	0.01175355	0.00010466	-3.51E-05	9.86E-05	0.0	30.59045	1.00000
8	0.038045	1729	1.173496	0.01239205	0.00010586	-7.74E-05	7.22E-05	0.5	25.16095	0.82251
9	0.045654	1726	1.165427	0.01230684	0.00010707	-0.000103	2.89E-05	1.0	21.91841	0.71651
10	0.053263	1772	1.295488	0.01368028	0.0001083	-0.000106	-2.2E-05	1.5	18.25463	0.59674
11	0.060872	1726	1.165427	0.01230684	0.00010954	-8.5E-05	-6.9E-05	2.0	14.21713	0.46476
12	0.068481	1683	1.055682	0.01114795	0.0001108	-4.41E-05	-0.0001	2.5	10.20899	0.33373
13	0.07609	1659	0.998988	0.01054926	0.00011206	7.669E-06	-0.00011	3.0	6.63192	0.21680
14	0.083699	1732	1.181621	0.01247785	0.00011335	5.891E-05	-9.7E-05	3.5	3.81450	0.12470
15	0.091308	1732	1.181621	0.01247785	0.00011465	9.797E-05	-6E-05	4.0	1.91268	0.06253
16	0.098917	1694	1.082732	0.01143359	0.00011596	0.0001157	-7.9E-06	4.5	0.88030	0.02878
17	0.106526	1688	1.067893	0.01127689	0.00011729	0.0001076	4.68E-05	5.0	0.46243	0.01512
18	0.114135	1720	1.149454	0.01213817	0.00011863	7.484E-05	9.2E-05	5.5	0.18751	0.00613
19	0.121744	1714	1.133701	0.01197182	0.00011999	2.438E-05	0.000117	6.0	0.23833	0.00779
20	0.129353	1714	1.133701	0.01197182	0.00012137	-3.28E-05	0.000117	6.5	0.61878	0.02023
21	0.136962	1688	1.067893	0.01127689	0.00012276	-8.38E-05	8.97E-05	7.0	0.86967	0.02843
22	0.144571	1706	1.113031	0.01175355	0.00012416	-0.000117	4.15E-05	7.5	0.91152	0.02980
23	0.15218	1700	1.097777	0.01159246	0.00012559	-0.000124	-1.7E-05	8.0	0.76522	0.02501
24	0.159789	1706	1.113031	0.01175355	0.00012702	-0.000104	-7.3E-05	8.5	0.51291	0.01677
25	0.167398	1677	1.041214	0.01099516	0.00012848	-5.91E-05	-0.00011	9.0	0.28407	0.00929
26	0.175007	1714	1.133701	0.01197182	0.00012995	5.716E-08	-0.00013	9.5	0.22625	0.00740

Figure 7. Worksheet for MTF by discrete Fourier Transform

특성곡선으로부터 상대노광량으로 변환한다. 먼저 구해둔 디지털 특성곡선의 1차 근사방정식을 구해서(Figure 1) C열에 상대노광량을 입력한다.

■ D열 : 합성한 슬릿의 정규화(합성 LSF)

D열에는 합성한 슬릿의 정규화를 표시해서 합성 LSF을 작성한다. 상대노광량 변환한 C열의 값이 가장 큰 값(여기서는 C508)으로 C셀 전부를 나누어 정규화를 한다.

같은 방법으로 마지막 셀까지 복사를 해나간다. 셀을 복사할 경우, 예를 들어 C508셀로 정규화하는 경우 $를 붙이지 않으면 셀 번호가 자동적으로 변하기 때문에 주의가 필요하다.

■ E열 : 지수함수 근사를 이용한 외삽(外揷)

Figure 8에 합성 LSF값 0.015부터 외삽한 그래프와 지수함수의 근사식을 나타내었다. 횡축은 거리(mm), 종축은 X선강도(합성 LSF값)을 나타낸다. 플롯 데이터 수는 합성 LSF값 0.015~0.025까지를 사용해서 지수함수로 근사하였다. 구하는 지수함수를 합성 LSF값이 0.015보다 작은 좌측, 및 우측(LSF의 그래프에 대하여)의 산기슭 부분의 셀까지 입력한다. 여기에 제시한 예에서 합성 LSF의 좌측산기슭은 E3~E453로 E3셀에

= 0.0001 * EXP(1.4997 * A3)라고 입력하고, E338까지 복사한다(외삽).

우측 산기슭은 E572~E셀 끝까지로서 같은 방법으로 입력하고 E셀 끝까지 복사한다(외삽).

E454~E571은 D열의 D454~D571의 값을 그대로 복사한다.

Figure 9에 D열 및 E열의 합성LSF을 나타내었다. D열의 합성LSF은 0.015로부터 깨끗하게 외삽되어 있다(E열). Figure 10에 외삽한 경우(E열)와 외삽하지 않은 경우(D열)의 합성 LSF으로부터 계산된 프리샘플링 MTF의 결과를 나타내었다. 외삽한 MTF는 외삽하지 않은 MTF에 비해서 저 주파수부분에서 높은 값을 나타내고 있으나 고주파수에서는 거의 일치하는 결과를 보인다.

■ F열 : COS성분의 퓨리어 변환

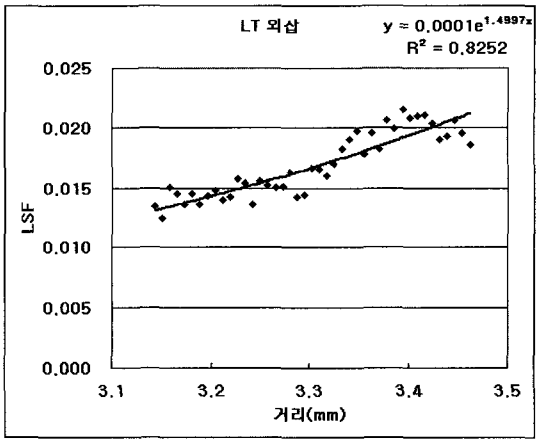
F의 열은 합성 LSF의 퓨리어 변환으로 cos성분의 구하고자 하는 주파수의 진폭이 이 열의 총합으로 구해진다.

공간 주파수 1.0 cycles/mm의 MTF는, 식 8에 의하여

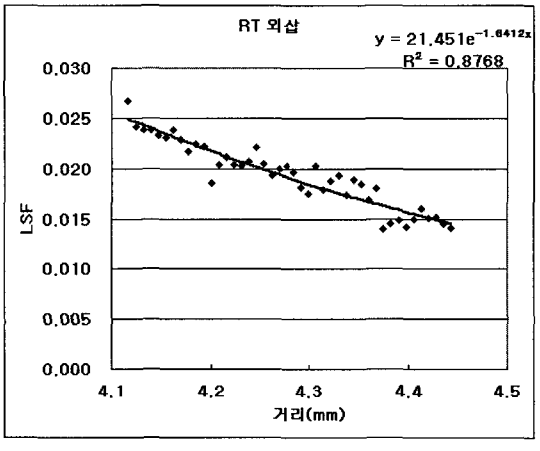
= E_3 * COS(2 * A3 * PI( ) * 1.0)을 입력한다. 이것도 전과 같이 최종 셀까지 복사해 나간다.

■ G열 : SIN성분의 퓨리어 변환

G열은 합성 LSF의 퓨리어 변환으로 sin성분의 구하고



a. Extrapolation for left slope



b. Extrapolation for right slope

Figure 8. Extrapolation for slope exponential approximation

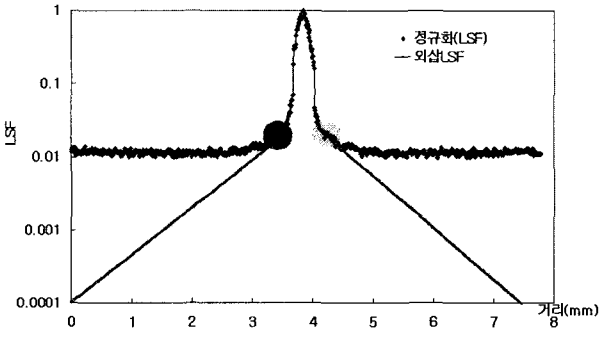


Figure 9. LSF with or without Extrapolation

자 하는 주파수의 진폭이 이 열의 총화(합)으로 구해진다. 전과 같이 공간 주파수 1.0 cycles/mm의 MTF값을 구하는 경우

= E_3 * SIN(2 * A3 * PI( ) * 1.0)으로 입력한다. 이것도 전과 같이 최종 셀까지 복사해 간다.

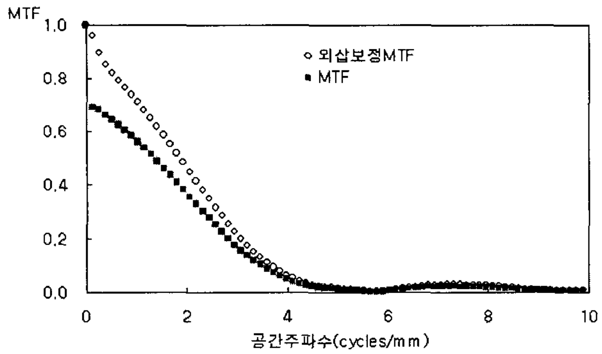


Figure 10. MTF with or without Extrapolation

다음으로「Σ」「∫」의 계산으로 cos성분의 총합식은 I3에, sin성분의 총합식은 J3셀에 입력한다.

= SUM (F3 : F962)------- 셀 I3 (COS 총합)

= SUM (G3 : G962)------- 셀 J3 (SIN 총합)

으로 입력한다.

MTF는 식 (10)으로부터 I4셀에 =SQRT(I3^2+J3^2)라고 입력한다. 구해진 공간주파수 마다의 sin 및 cos 성분의 총합을 I열에 입력하고 최종적으로 공간주파수가 0일 때의 값으로 정규화(J열)하면 MTF값이 구해진다.

2) 고속퓨리어 변환법 FFT(Fast Fourier Transform)

엑셀 프로그램 내의 퓨리어 변환 기능을 이용한 FFT법을 이용하는 경우에도 E열까지는 DFT(이산퓨리어변환)에서 설명한 바와 같이 작업한다.

그림 11에 그 워크시트를 나타내었다.

■ F열 : E열의 FFT

E열의 FFT를 하려고 할 경우 데이터를 1026행까지 늘려서 복사하며 중심으로 부터의 개수가 좌우 비대칭이 되지만 최종적인 MTF의 값에는 영향을 거의 미치지 않기 때문에 그대로 시행한다.

1026행까지 복사한 후에는 E열(외삽한 데이터도 포함하여)을 FFT한다.

메뉴 중에 『도구』 → 『분석도구』 → 『퓨리어해석』 → 『OK』하면 FFT가 실행되고 F열에 FFT 후의 값이 입력된다.

■ G열 : F열(복소수)의 절대값

전술한 바와 같이 MTF는 합성 LSF의 퓨리어 변환의 절대값이므로 G열에는 F열의 절대값을 입력한다. 복수수의 절대값을 내는 함수 IMABS를 사용한다. 즉 G열에는 =IMABS(F3)라고 입력하고 셀 끝까지 복사한다.

■ H열 : 제로 주파수로 정규화(MIF)

다음으로 MTF를 0주파수로 정규화하기 위하여 H열에 정규화 한다. 즉, =G3/$G$3...으로 입력하고 이것을 셀 끝까지 복사해 간다.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	실효 Sampling간격 0.175(PixelSize) ÷ 23 = 0.7609					공간주파수의 Sampling간격 1÷(FFT에서사용한 DATA의 수×sampling간격)			
2	실효 샘플링 간격	Digital Pixel Value	상대노광량	정규화(LSF)	외삽LSF	FFT (Fast Fourier Transform)	절대값	공간주파수	MTF
3	0	1703	1.105377797	0.011672729	0.0001	30.5911760597805	30.591	0.000	1.0000
4	0.007609	1735	1.189802318	0.012564247	0.000101146	-29.3296983165577-1.49635024140643i	29.365	0.128	0.9599
5	0.015218	1758	1.254437386	0.01324679	0.000102304	27.3126879711064+2.62099369657369i	27.438	0.257	0.8969
6	0.022827	1729	1.17349582	0.012392052	0.000103476	-25.8038512827878-3.75198217864058i	26.075	0.385	0.8524
7	0.030436	1706	1.113031278	0.011753549	0.000104662	24.5989582768054+4.84203005683468i	25.069	0.513	0.8195
8	0.038045	1729	1.17349582	0.012392052	0.000105861	-23.5023261574064-5.87956196634032i	24.227	0.642	0.7919
9	0.045654	1726	1.16542657	0.012306841	0.000107073	22.3960324715438+6.83086321527397i	23.415	0.770	0.7654
10	0.053263	1772	1.295487632	0.013680279	0.0001093	-21.2477079650263-7.68864093449931i	22.596	0.898	0.7386
11	0.060872	1726	1.16542657	0.012306841	0.000109541	20.0369154745404+8.43303899513346i	21.739	1.027	0.7106
12	0.068481	1683	1.05568218	0.011147946	0.000110796	-18.7732937578427-9.06272528798113i	20.846	1.155	0.6814
13	0.07609	1659	0.998987687	0.010549255	0.000112065	17.4620626979649+9.55968182375548i	19.910	1.283	0.6509
14	0.083699	1732	1.181620941	0.012477853	0.000113349	-16.1210789408685-9.9452267881373i	18.942	1.412	0.6192
15	0.091308	1732	1.181620941	0.012477853	0.000114647	14.7621621113988+10.195999992603i	17.941	1.540	0.5865
16	0.098917	1694	1.082731673	0.011433587	0.00011596	-13.4033258588342-10.3259434530646i	16.919	1.668	0.5531
17	0.106526	1688	1.067892601	0.011276888	0.000117289	12.0569959879371+10.3332945777291i	15.879	1.797	0.5191
18	0.114135	1720	1.149454146	0.012138173	0.000118632	-10.7387678195231-10.2305410574483i	14.832	1.925	0.4848
19	0.121744	1714	1.133700628	0.011971817	0.000119992	9.45940296929042+10.0212632634347i	13.781	2.053	0.4505
20	0.129353	1714	1.133700628	0.011971817	0.000121368	-8.23138494129209-9.71069536056471i	12.736	2.182	0.4163
21	0.136962	1688	1.067892601	0.011276888	0.000122756	7.06309511626512+9.32951983486312i	11.702	2.310	0.3825
22	0.144571	1706	1.113031278	0.011753549	0.000124163	-5.96385599079271-8.86949042104259i	10.688	2.439	0.3494
23	0.15218	1700	1.097776943	0.011592465	0.000125585	4.93955721274403+8.34540665752745i	9.698	2.567	0.3170
24	0.159789	1706	1.113031278	0.011753549	0.000127024	-3.99654429043099-7.77414308399005i	8.741	2.695	0.2857
25	0.167398	1677	1.041213827	0.010995161	0.000128479	3.13922612066177+7.16467124777876i	7.822	2.824	0.2557
26	0.175007	1714	1.133700628	0.011971817	0.000129951	-2.36908188014007-6.53180410757141i	6.948	2.952	0.2271
27	0.182616	1732	1.181620941	0.012477853	0.000131439	1.68702184997391+5.88460052670898i	6.122	3.080	0.2001
28	0.190225	1714	1.133700628	0.011971817	0.000132945	-1.09565865083508-5.23733829515312i	5.351	3.209	0.1749

Figure 11. Worksheet for MTF by Fast Fourier Transform

■ I열 : 공간주파수 핏치

공간주파수는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

공간주파수 핏치 = 1 ÷ (FFT에 사용한 데이터 수 × 샘플링 간격)

샘플링 간격, 즉 I열에는 I3셀에 0을 I4셀에는 0.128343를 입력하여 I3, I4를 클릭해서 셀 끝까지 복사하면 그 간격대로 합산되어 입력된다. 식(4)를 직접 I4셀에 입력한 경우에는 I5셀에 =I4+$I$4로 입력하고 복사할 필요가 있다. 이산 퓨리어 변환 및 FFT법으로 구한 프리 샘플링 MTF는 완전히 일치한다.

Ⅳ. 결 론

엑셀프로그램을 이용하여 프리샘플링 MTF를 구하는 방법을 이산퓨리어트랜스폼방법과 고속퓨리어트랜스폼방법으로 나누어 검토하였다.

이 방법의 커다란 장점은 퓨리어트랜스폼의 공식과 MTF 산출과정을 완전히 이해할 수 있다는 점과, 별도로 값비싼 프로그램이나 컴퓨터언어를 배우지 않았어도 MTF 결과를 산출할 수가 있다는 것이다. 그리고 워크시트 표시되는 엑셀의 장점을 그대로 살려 X선 영상계의 오류나 산출결과의 부적합성을 발견하기 쉽다는 점이다. 따라서 여러 가지 보정방법을 적용함으로서 적절한 MTF값을 산출할 수가 있다. 그러나 보정방법을 정확히 알고 숙달하지 못할 경우 실제값에 왜곡된 결과를 얻게 되는 수가 있으므로 많은 실험을 통하여 보정방법을 정립해 나가야 할 것이다. 주로 실험실에서 산출하던 고난도의 디지털 MTF를 임상현장에서도 산출할 수 있고 화질평가에 이용할 수 있게 되기를 기대한다.

참 고 문 헌

1. 東田善治: デジタル特性曲線の實踐的測定法: INNERVISION, 18-10, 79~83, 1999
2. NIH-Image J웹사이트 http://rsb.info.nih.gov/ij/
3. 杜下淳次 : 入出力特性(1)INNERVISION, 14-4, 54~59, 1999
4. 김정민 : 방사선영상정보학, 대학서림, 309~312, 2005
5. 桂川茂彦 : 醫用畵像情報學, 南山堂, 84~91, 2002
6. 井手口忠光: 表計算ソフトExcelを用いたフリサンプリングMTFの實踐的測定法, INNERVISION, 18-11, 68~75, 1999

• Abstract

Correction Method of Slit Modulation Transfer function on Digital Medical Imaging System

Jung-Min Kim · [1)]Hoi-Woun Jung · [2)]Jung-Whan Min · [3)]Eon-Kyung Im

Korea University of health science · [1)]Inje University Seoul Paik Hospital

[2)]Sanggye Paik Hospital · [3)]Korea Institute Radiological & Medical Sciences

By using CR image pixel data, We examined the way how to calculate the MTF and digital characteristic curve. It can be changed to the text-file(Excel) from a pixel data which was printed with a digital x-ray equipment.

In this place, We described the way how to figure out and correct the sharpness of a digital images of the MTF from FUJITA.

Excel program was utilized to calculate from radiography of slit.

Digital characteristic curve, Line Spread Function, Discrete Fourier Transform, Fast Fourier Transform digital specification curve, were indicated in regular sequence.

A big advantage of this method, It can be understood easily and you can get results without costly program and without full knowledge of computer language.

It shows many different values by using different correction methods.

Therefore we need to be handy with appropriate correction method and we should try many experiments to get a precise MTF figures.

Key Words : Digital Image, Sharpness, LSF, MTF