

의료용 디지털영상계의 특성곡선의 작성법

Characteristic curves in Medical Digital Imaging

김 정 민

고려대학교보건과학대학

I. 서론

모든 수광계의 특성을 파악하기 위한 첫 번째 단계로서 특성곡선을 작도한다. 수광계라 하면 필름 증감지 또는 Imaging Plate, Direct Radiography sensor 이라 할 수 있다. 아날로그계의 특성곡선의 작도방법과 디지털계의 특성곡선 작도방법은 근본적으로 완전히 같지만 다이내믹레인지의 범위가 다르고 필름에서 나타나는 상반법칙 불계가 디지털 센서에서는 나타나지 않기 때문에 디지털계의 노출방법은 아날로그계에 대한 노출 방법보다 더욱 간편 해졌다고 할 수 있다. 그러나 넓은 범위의 선량을 대상으로 하기 때문에 그래프의 보정이나 합성에 유의해야 한다.

물론 특성곡선의 활용방법은 아날로그계와 디지털계 모두 수광계의 특성파악과 Look Up Table의 작도, MTF, WS 등 화상평가시에 농도-선량변환, 픽셀값-선량변환 등에 쓰인다.

디지털특성곡선의 작도방법에 대하여서는 몇가지 보고가 있으나 東田善治의 "디지털 특성곡선의 실천적 측정법" -INNERVISION 18,10(2003)을 근간으로 아날로그특성곡선과 디지털특성곡선의 차이와 실제 디지털특성곡선의 실험 결과 등에 대하여 논하고자 한다.

II. 디지털 화상의 특성곡선

아날로그 화상(X선 필름)의 특성곡선은 필름(증감지-필름)에 입력하는 상대조사선량(또는 상대노광량)과 출력 사진농도의 관계로 표현된다. 특성곡선을 구하는 방법으로는 「강도 스케일법(Intensity Scale)-거리법 이라고도 한다.」 과 「시간 변화법(Time scale)」으로 대표할 수 있다. 강도 스케일법은 각 스텝의 X선 조사가 같은 시간에 이루어지기 때문에 필름시스템에서는 가장 많이 이용

되는 방법이다. 필름의 특성곡선에서 얻어지는 정보는 ① 감도, ② 평균계조도, ③ γ (대조도), ④ Fog, ⑤ 다이내믹 레인지, ⑥ 최고농도 등이 있다. 이 중에서 임상현장에서 실용상 필요한 정보로서는 필름 콘트라스트를 나타내는 평균계조도, Fog 감도를 들 수가 있다. 화상해석에 있어서도 특성곡선은 많이 이용되며 특히 증감지-필름계의 MTF를 구할 때에 선형화(線形化)수단으로서 정확한 특성곡선의 작도가 필요하다.

디지털 화상의 특성곡선도 아날로그 화상과 같게 생각할 수 있으나 입력되는 상대조사선량에 대한 출력의 디지털 값(픽셀값 : PV)으로 정의할 수 있다. 디지털 특성곡선을 최초로 작성한 것은 "디지털 II-TV 시스템"이며 그 후 CR 시스템과 FPD에 대하여 많은 보고가 뒤따랐다.

디지털 화상의 특성곡선 중에 상대조사선량에 대한 디지털 값의 관계를 디지털 특성곡선이라고 부른다. 이에 대하여 상대 조사선량에 대한 레이저 이미저(프린터)를 거친 필름 농도 관계를 오버롤(overall) 특성곡선이라고 부르며, CR 시스템의 출력 특성을 파악하는데 사용된다.

그러나 해상특성의 해석이나 화상의 정량해석에는 디지털 특성곡선이 이용되고 있다.

디지털 특성 곡선으로부터 얻을 수 있는 중요한 정보로는 ① 다이내믹레인지, ② 시스템 콘트라스트가 있으며, 경시적 측정을 하기도 하며 이들 정보보다 더욱 복잡한 화상 시스템의 동작특성을 모니터 할 수 있다.

FPD에서는 입력과 출력 관계가 직선적인 경우가 많으며 이들 특성을 모니터 하는데도 특성곡선이 이용된다. 앞에서 언급한 바와 같이 디지털 특성 곡선은 MTF로 대표되는 기본적인 화상해석에 이용되는 경우가 가장 많으며 나아가서는 컴퓨터 지원진단(CAD) 등의 정량해석에도 필요하기 때문에 디지털 특성곡선의 측정의의는 크다고 할 수 있다.

Fig. 1에 FPD나 CR의 대표적인 디지털 특성곡선과 전형적인 필름의 특성곡선은 나타내었다. 잘 알려져 있는 바와 같이 필름의 특성곡선은 S자 계조이며 2자리 정도의 다이내믹 레인지를 보이고 있다. 그러나 임상적으로 표현 가능한 다이내믹 레인지는 1.5자리 정도이기 때문에 평균 계조도나 Fog정보를 얻는 데는 1.5자리 정도의 선량 변화로 가능하다. MTF등의 화상특성을 측정하고 하는 경우는 배수노광에 의한 Slit상을 농도로부터 X선 강도로 변환할 필요가 있기 때문에 충분히 고농도까지 측정할 필요가 있다. 강도 스케일법으로 특성곡선을 측정할 경우에는 Table 1에 나타난 바와 같이 초점 필름간 거리를 40cm로부터 400cm정도까지 움직여서 2자리 정도의 상대 X선강도를 얻을 수 있다. 이에 대하여 이메징 플레이트(IP)나 FPD의 입력에 대한 출력은 직선적이면서 3~4자리의 다이내믹레인지를 가지고 있기 때문에 넓은 범위의 선량 변화를 시킬 필요가 있다.

CR의 다이내믹레인지의 예로서 FCR(Fuji)의 경우 4자리 이상의 넓은 범위의 선량변화에 대하여 직선적 출력을 나타내며, RADIUS 150(Konica-Minolta)의 경우에 QR = 200의 경우 Dynamic range는 0.032~320mR의 입력선량 범위 중 80kVp 1mR의 디지털 값을 대략 중심(1535)으로 이에 대한 출력은 0~4095까지 12bit로 하고 있다.

이러한 넓은 다이내믹 레인지는 피사체 중의 각각 조직에 가지고 있는 미소한 X선 흡수특성차이를 정확하게 검출할 수 있으며 어떠한 촬영조건에 있어서도 안정된 디지털영상을 얻을 수 있는 이점을 가지게 된다.

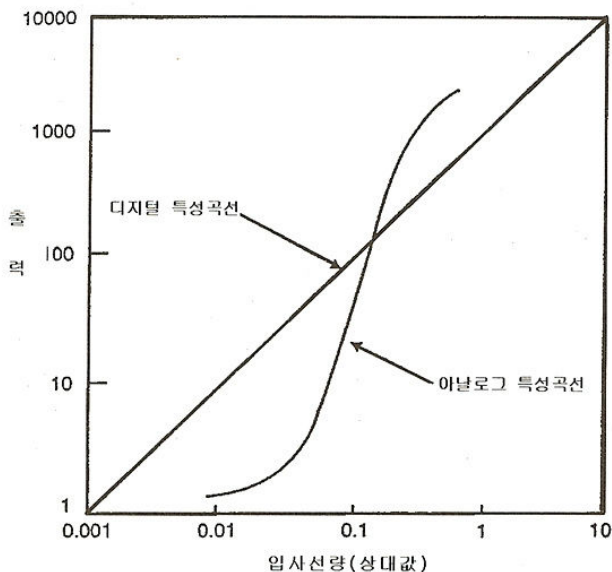


Fig. 1. 디지털시스템과 필름시스템의 전형적인 입출력 특성

Table 1. 필름특성곡선 측정에 있어서 거리와 상대 입사선량의 일례(거리법)

조사 횟수	초점-필름간거리	상대조사선량(상용대수)
1	400.0 (cm)	0.00
2	356.5	0.10
3	317.7	0.20
4	283.2	0.30
5	252.4	0.40
6	224.9	0.50
7	220.5	0.60
8	178.7	0.70
9	159.2	0.80
10	141.9	0.90
11	126.5	1.00
12	112.7	1.10
13	100.5	1.20
14	89.6	1.30
15	79.8	1.40
16	71.1	1.50
17	63.4	1.60
18	56.5	1.70
19	50.4	1.80
20	44.9	1.90
21	40.0	2.00

III. FPD의 디지털 특성곡선의 실제

디지털 특성 곡선의 측정에서는 타임 스케일법을 이용하는 방법이 간편하다. 그 이유는 디지털 시스템에서는 "상반법칙불계"가 없다는 것이다. 또한 최근의 X선 장치에서는 X선관초점과 검출기간 거리가 고정되어 있는 것이 많기 때문에 거리법은 쓰기가 곤란하다. 특성곡선을 측정할 때에는 해상특성(MTF)이나 입상성 특성(WS)등의 데이터도 함께 수집하기 때문에 FPD 디텍터 부의 커버, 그리드, 자동노출기구의 수광부 등을 벗겨내고 X선을 조사하는 것이 좋다.

데이터는 FPD로부터 워크스테이션에 보내진 화상데이터를 CD-R에 복사하였다.

특성곡선만을 측정하려고 한다면 Grid가 있어도 크게 문제가 없으나 다른 화질특성을 함께 얻고자 한다면 Grid를 제거한 상태에서 특성곡선을 측정한다. 그리고 예전의 장치들은 관전압, 관전류, 시간 등의 정확도가 낮았으나 요즘의 장치는 정확도가 높아졌다. 촬영시에 이들 요소들의 모니터링이 필요하겠으나 데이터를 확인하고 의심스러운 부분이 있다면 장치를 체크하여도 무방하리라 본다.

Table 2. 디지털 특성곡선의 측정에 있어서 mAs, 상대노광량, 디지털 값

a: 관전압 30kv, 필터있음 (IP : ST-V)

NO.	mAs	상대노광량	디지털값
1	4	1.00	117
2	5	1.27	151
3	6.3	1.65	194
4	10	2.67	315
5	16	4.35	510
6	22.5	6.16	726
7	28	7.67	914
8	40	11.05	1303
9	63	17.48	2068
10	90	25.05	2959
11	125	34.84	4133
12	160	44.70	5285
13	200	55.94	6591
14	250	70.00	8267
15	280	78.48	9226
16	360	100.81	11735
17	400	112.00	13120

b: 관전압30kv, 필터없음

No. 1	mAs	상대노광량	디지털값
18	4	26.67	3150.4
19	4.5	30.24	3578.9
20	5	33.58	3979
21	5.6	37.79	4491.8
22	6.3	42.64	5067.7
23	7.1	48.44	5758.5
24	8	54.73	6520.8
25	9	61.75	7350.2
26	10	68.73	8176.7
27	11	75.73	9016.1
28	12.5	86.24	10269.5
29	14	96.75	11496.9
30	16	110.78	13131.6
31	18	124.81	14730.9
32	20	138.78	16265.2
33	22.5	156.43	16383.0
34	25	173.86	16383.0
35	32	223.35	16383.0
36	40	280.24	16383.0
37	50	351.30	16383.0
38	71	499.59	16383.0
39	100	704.05	16383.0
40	140	986.76	16383.0
41	200	1410.81	16383.0

1. GE2000D(FFDM 시스템)의 디지털 특성곡선

Fig. 2에 GE의 full field digital mammograph(GE 2000D)장치의 특성곡선을 나타내었다. 초점-검출기간 거리를 65cm로 하고 검출기 전면에 교정한 선량계(dosimeter)를 고정하였다. 관전압 30kV, 조사선량을 조정하기 위한 필터로서 IP[ST-V]를 부가하고 mAs를 변화시켜 저선량부를 먼저 측정하였다(Table 2a).

다음으로 디지털 값이 높은 부분(고선량부)을 측정하였다(Table 2b).

2가지 선질로 촬영한 디지털 값의 기울기가 같은 것을 확인한 후에 두 데이터를 합성하여 GE2000D의 특성곡선을 구하였다. Fig. 2에서와 같이 보통눈금에서 직선관계가 성립하여 14bit 디지털 값(16383)에서 포화된다.

Table 3에 대수눈금을 잡은 것은 다른기종과의 비교가 용이하게 하기위함이다. GE 2000D의 디지털 특성곡선의 2자리수 이상의 넓은 다이내믹레인지로 가지고 있다.

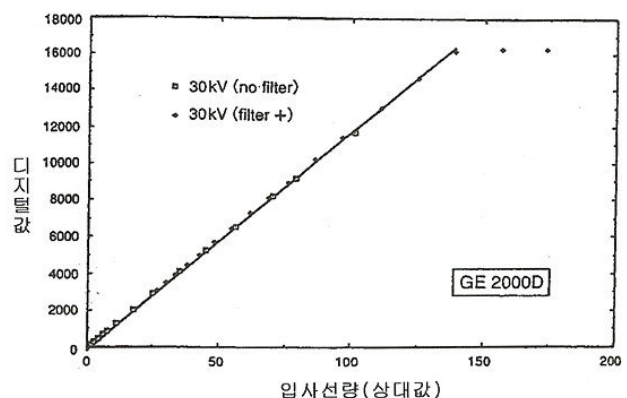


Fig. 2. 시스템의 입출력특성(보통눈금)

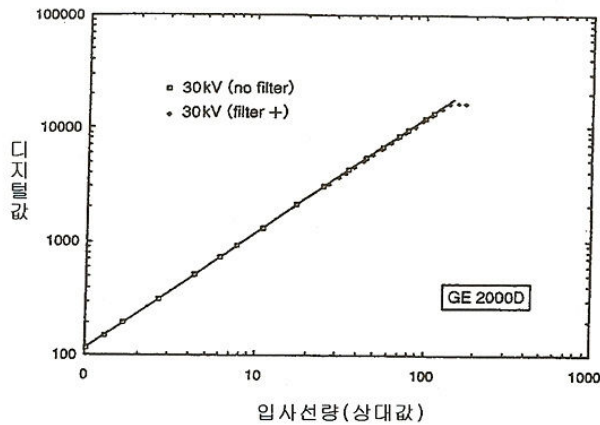


Fig. 3. 시스템의 입출력특성(대수눈금)

2. CDDI - II의 디지털특성곡선

Fig. 4의 Canon CXDI - II의 디지털 특성곡선을 나타내었다.

초점-검출기간 거리를 380cm로 하고 관전압 80kV, 20mmAl필터를 부착하여 mAs를 변화시키면서 조사하였다. 입력은 조사선량(mR)의 대수값을 출력은 log데이터(12bit)로 출력한 값이다. 앞에서와 같이 입사선량과 출력 디지털 값은 직선관계를 가지며 3자리 가까운 넓은 다이내믹레인지에 가지고 있다. 그림 4에 나타난 특성곡선은 지금까지의 특성곡선과는 다른 특성을 보이고 있다. 이제까지 보고된 CXDI-II 디지털 특성곡선(5,9)은 센서-A/D출력으로 환산된 14bit 리니어 데이터(1mR에서 1000으로 설정)로 표시하고 있어 입사선량이 0이면 출력도 0이 된다.

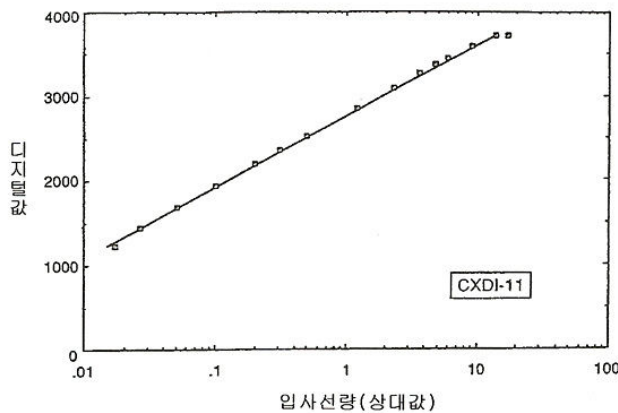


Fig. 4. CXDI-II의 디지털 특성곡선

출력을 log 데이터로 할 경우 입력(횡축)도 대수로 잡으면 Fig. 4에서 보는 바와 같이 입출력관계도 직선이 된다.

입사선량에 대한 센서 출력의 취급은 각 회사의 독자적인 Look up table에 의한다고 알고 있으며 L값으로 규정되어있는 CR시스템의 다이내믹레인지 결정방법과는 다르다고 생각된다.

IV. 고찰

디지털 특성곡선을 작성할 경우의 X선 조사방법은 Time scale이 편리하며 동일 선질로서 조사선량(mAs) 그림 2와 같이 다른 선질로서 조사하고 합성하는 방법이 있다. 야마자키의 보고에 의하면(Fig. 5) 선질이 크게 다른 경우에는 입출력의 기울기가 다를 수 있다고하고 있어서 선질이 다른 노출특성을 합성 할 때에는 주의가 필요할 것이다.

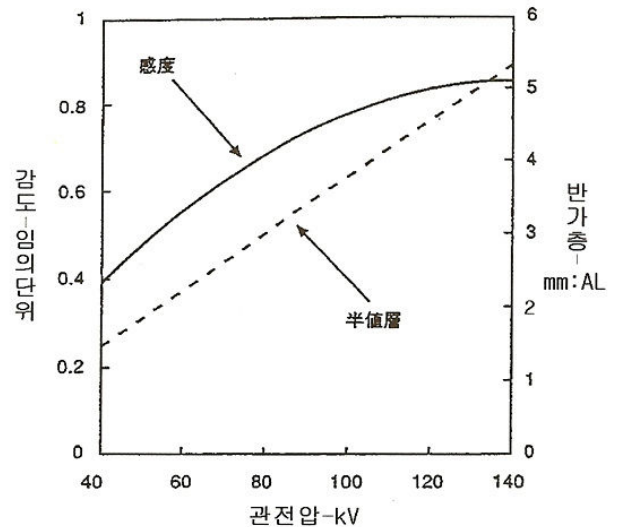


Fig. 5. FPD에 있어서 선질과 상대감도

告田등은 GE Revolution QX/i 의 디지털 특성곡선을 측정하여 보고하였다. 초점-검출기간 거리는 180cm이고 Time Scale법을 이용하였다. 관전압은 80kVp와 120kVp를 사용하였으나 두 선질에 의한 입출력 특성의 차이는 없는 것으로 나타났다(Fig. 6, 7). 이와 같이 디지털 특성곡선은 디텍터와 A/D 변환기에 의해 약간의 차이가 있을 수 있으며 선질 등에 따라서는 차이가 있는 FPD도 있고 차이가 없는 디텍터도 있다는 것을 알게 되었다.

참고로 현재 시판되고 있는 FPD로서 화질특성에 대하여 연구되고 있는 디텍터를 Table 3에 나타낸다.

참고문헌

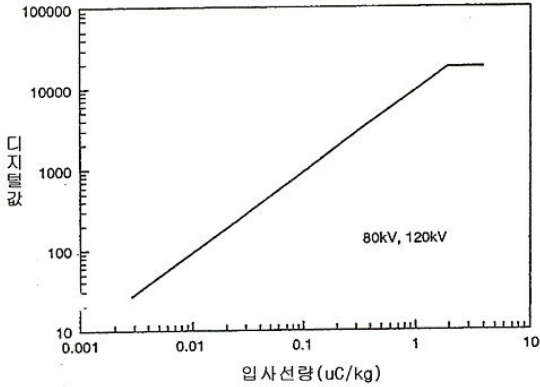


Fig. 6. QX/i FPD의 관전압 80kV와 120kV의 디지털 특성곡선

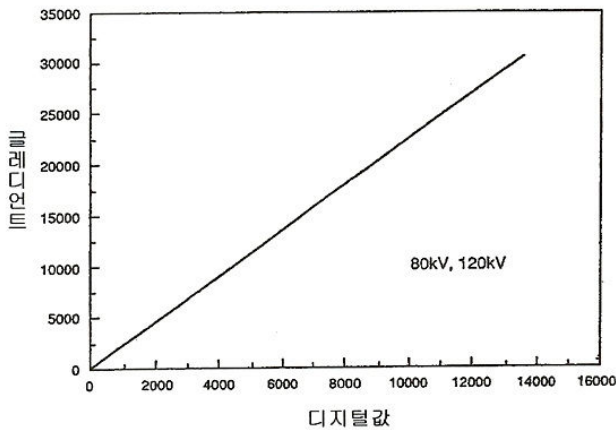


Fig. 7. QX/i FPD의 관전압 80kV와 120kV의 계조곡선

Table 3. 각 사의 화상검출 시스템(FPD)

메이커	기종
캐논	CXDI -II
G E	Revolution XQ/i, Senography 2000D
필립스	Digital Diagnost
시멘스	Thorax FD
홀로직	EPEX
Fuji	CR : 양면 집광방식(100 μ m, 200 μ m)
Fuji	CR : 양면 집광방식(50 μ m,100 μ m)
LISTEM	Uni DR(Trixell)

1. 東田善治: 디지털 특성곡선의 실천적 측정법, INNERVISION 18,10(2003)
2. Fujita, H., Doi, K., MacMahon, H., et al. : Basic imaging properties of a large image intensifier-TV digital chest radiographic system. Investigative Radiology, 22, 328~335, 1987.
3. 杜下淳次 : 入出力特性 (1). INNERVISION, 14 · 4,54~59,1999.
4. 杜下淳次 : 入出力特性 (2). INNERVISION, 14 · 4,50~54,1999.
5. 山崎達也 : フラットパネディテクター X線 ディジタルカメラCXDI について. 日本放射線技術學會雜誌, 55-8, 738~742,1999.
6. 吉田 彰, 他 : フラットパネディテクタシステムの物理 畫像特性. 醫學物理,22 · 4, 246~254, 2002.
7. 松本政雄, 他 : キヤノンのフラットパネルディテクタ について. 醫學物理, 22 · 4, 232~245,2002.
8. 東田善治 : 1. 増感紙 フィル系, A. 距離法. 放射線受 光系の特性曲線, 醫療科學社, 41~49,1994.
9. 仕籾昌見, 他 : フラットパネディテクタシステムの畫 像評價. 日本放射線技術學會雜誌, 57-1, 68~76,2001.