▸강 좌◂

디지털 특성곡선의 작도법

고려대학교 보건과학대학

김 정 민

Ⅰ. 서 론

필름과 증감지에 대한 특성곡선은 필름, 증감지의 감도와 대조도 등을 알기 위하여 임상에서도 종종 이용되곤 하였으나 CR, DR 시스템이 도입되고 나서는 디지털 특성곡선을 작도하는 시설을 볼 수 없게 되었다. 그 이유는 촬영조건이나 대조도 등을 방사선사가 조정할 필요가 없어지게 되었기 때문이기도 하고 디지털 특성곡선을 그려야 할 필요성이나 방법을 모르기 때문이라고 생각된다. 디지털 특성곡선은 아날로그시스템에서 특성곡선을 그리던 목적과 같은 목적으로 또한 같은 방법으로 그릴 수 있으며 MTF 등의 작도에도 필수적으로 필요하므로 디지털 특성곡선의 작도법에 대하여 살펴보도록 하자. 이 내용은 INNERVISION 18-10의 큐슈대학의 히가시타 선생이 기고한 "디지털 특성곡선의 실천적 측정법"에 저자의 실험을 추가하여 대표적 디지털장치의 특성곡선 예를 기술하였다.

Ⅱ. 특성곡선의 이해

1. 아날로그 화상의 특성곡선

아날로그 화상(X선 필름)의 특성곡선은 필름(증감지-필름)에 입력하는 상대조사선량(또는 상대노광량)과 출력사진농도의 관계로 표현된다. 특성곡선을 구하는 방법으로는 「강도 스케일법(Intensity Scale)-거리법이라고도 한다.」과 「시간 변화법(Time scale)」으로 대표할 수 있다. 강도 스케일법은 각 스텝의 X선 조사가 같은 시간에 이루어지기 때문에 필름시스템에서는 가장 많이 이용되는 방법이다. 필름의 특성곡선에서 얻어지는 정보는 ① 감도 ② 평균계조도 ③ γ(대조도) ④ Fog ⑤ 다이나믹레인지 ⑥ 최고농도 등이 있다. 이중에서 임상현장에서 실용상 필요한 정보로서는 필름 콘트라스트를 나타내는 평균계조도, Fog 감도를 들 수가 있다. 화상해석에 있어서도 특상곡선은 많이 이용되며 특히 증감지-필름계의 MIF를 구할 때에 선형화(線形化)수단으로서 정확한 특성곡선의 작도가 필요하다.

2. 디지털 화상의 특성곡선

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 "디지털Ⅱ-TV시스템"이며 그 후 CR시스템과 FPD에 대하여 많은 보고가 뒤따랐다.

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

그러나 해상특성의 해석이나 화상의 정량해석에는 디지털 특성곡선이 이용되고 있다.

디지털 특성 곡선으로부터 얻을 수 있는 중요한 정보로는 ① 다이나믹레인지 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 많으

며 나아가서는 컴퓨터 지원진단(CAD) 등의 정량해석에도 필요하기 때문에 디지털 특성곡선의 측정의의는 크다고 할 수 있다.

그림 1에 FPD나 CR의 대표적인 디지털 특성곡선과 전형적인 필름의 특성곡선은 나타내었다. 잘 알려져 있는 바와 같이 필름의 특성곡선은 S자 계조이며 2자리 정도의 다이나믹레인지를 보이고 있다. 그러나 임상적으로 표현 가능한 다이나믹 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 스케일 법으로 특성곡선을 측정할 경우에는 표 1에 나타난 바와 같이 초점 필름간 거리를 40 cm로부터 400 cm 정도까지 움직여서 2자리 정도의 상대 X선 강도를 얻을 수 있다.

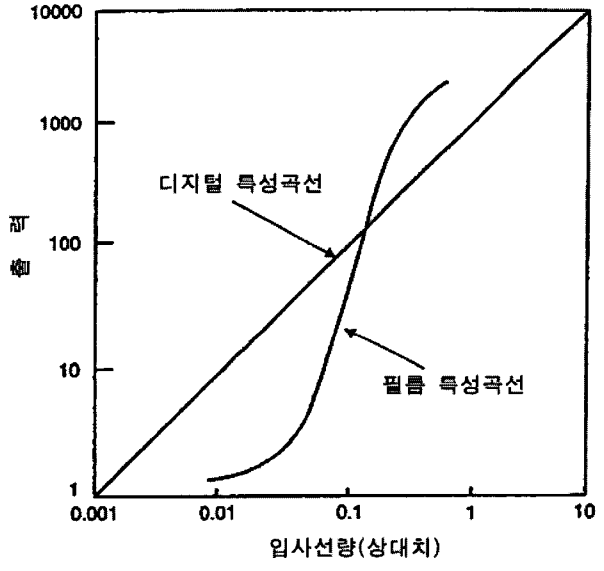

그림 1. 디지털시스템과 필름시스템의 전형적인 입출력 특성

이에 대하여 이메징 플레이트(IP)나 FPD의 입력에 대한 출력은 직선적이면서 3~4자리의 다이나믹레인지를 가지고 있기 때문에 넓은 범위의 선량 변화를 시킬 필요가 있다.

표 1. 필름특성곡선 측정에 있어서 거리와 상대 입사선량의 일예(거리법)

	cm	농도		cm	농도
1	400.0	0.00	11	126.5	1.00
2	356.6	0.10	12	112.7	1.10
3	317.7	0.20	13	100.5	1.20
4	283.2	0.30	14	89.6	1.30
5	252.4	0.40	15	79.8	1.40
6	224.9	0.50	16	71.1	1.50
7	220.5	0.60	17	63.4	1.60
8	178.7	0.70	18	56.5	1.70
9	159.2	0.80	19	50.4	1.80
10	141.9	0.90	20	44.9	1.90
			21	40.0	2.00

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

이러한 넓은 다이나믹 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.

Ⅲ. 특성곡선 작도법의 실천

FPD의 디지털 특성곡선의 실제

디지털 특성 곡선의 측정에서는 타임 스케일법을 이용하는 방법이 간편하다. 그 이유는 디지털 시스템에서는 "상반법칙불궤"가 없다는 것이다. 또한 최근의 X선 장치에서는 X선관초점과 검출기간 거리가 고정되어 있는 것이 많기 때문에 거리법은 쓰기가 곤란하다. 특성곡선을 측정할 때 에는 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.

1. GE2000D(FFDM 시스템)의 디지털 특성곡선

그림 2에 GE의 full field digital mammograph (GE2000D)장치의 특성곡선을 나타내었다. 초점-검출기 간 거리를 65 cm로 하고 검출기 전면에 교정한 선량계(dosemeter)를 고정하였다. 관전압 30 kV, 조사선량을 조정하기 위한 필터로서 IP[ST-V]를 부가하고 mAs를 변화시켜 저선량부를 먼저 측정하였다(표 2a).

다음으로 디지털 값이 높은 부분(고선량부)을 측정하였다(표 2b).

표 2. 디지털 특성곡선의 mAs, 상대형광량, 디지털 값의 측정
a. 관전압 30 kVp, 필터사용(IP : ST-V)

No	mAs	상대형광량	디지털 값
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

표 2. 디지털 특성곡선의 mAs, 상대형광량, 디지털 값의 측정
b. 관전압 39 kVp, 필터 미사용

No	mAs	상대형광량	디지털 값
18	4	26.67	3150.4
19	4.5	30.24	3578.9
20	5	33.58	3979
21	5.6	33.79	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	30	223.35	16383.0
36	40	280.24	16383.0
37	50	351.30	16383.0
38	71	499.59	16383.0
39	100	70.4.05	16383.0
40	140	987.76	16383.0
41	200	1410.81	16383.0

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

그림 3에 대수눈금을 잡은 것은 다른 기종과의 비교가 용이하게 하기 위함이다. GE 2000D의 디지털 특성곡선의 2자리 수 이상의 넓은 다이나믹 레인지를 가지고 있다.

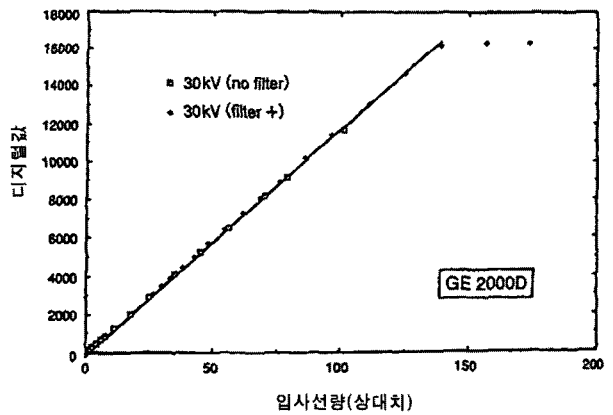

그림 2. 시스템의 입출력특성(보통눈금)

2. CXDI-Ⅱ의 디지털 특성곡선

그림 4의 Canon CXDI-Ⅱ의 디지털 특성곡선을 나타내었다.

초점 -검출기간 거리를 380 cm로 하고 관전압 80 kV, 20 mmAl 필터를 부착하여 mAs를 변화시키면서 조사하였다. 입력은 조사선량(mR)의 대수 값을 출력은 log데이터(12 bit)로 출력한 값이다. 앞에서와 같이 입사선량과 출력디지털 값은 직선관계를 가지며 3자리 가까운 넓은 다이나믹 레인지를 가지고 있다. 그림 4에 나타난 특성곡선은 지금까지의 특성곡선과는 다른 특성을 보이고 있다.

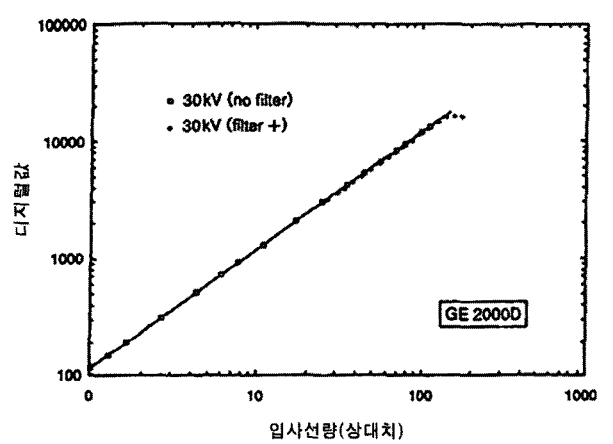

그림 3. 시스템의 입출력특성(대수눈금)

이제까지 보고된 CXDI-Ⅱ디지털 특성곡선은 센서 A/D 출력으로 환산된 14 bit 리니어 데이터(1 mR에서 1000으로 설정)로 표시하고 있어 입사선량이 0이면 출력도 0이 된다.

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

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

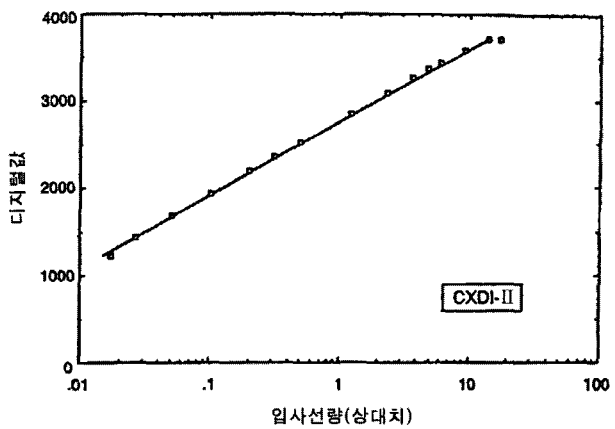

그림 4. CXDI-II의 디지털 특성곡선

3. Konica-Minolta CR, Redius 150의 특성곡선의 실제

단상 전파 장치와 Inverter장치에서 CR장치인 Konica-Minolta CR, Redius 150로 time scale법으로 실험하였다.

먼저 단상 전파 장치(DXG-325)에서 70 kVp에 피사체 팬텀 21 mm AL를 위치시킨 RQ5의 조건으로 특성곡선을 작성하여야 하나 관전압을 82 kVp로 해서 비로서 반가층 7.1 mm AL의 선질을 맞출 수 있었다. Inverter장치(REX 650 F)에서는 같은 선질을 얻기 위하여 74 kvp에서 반가층 7.1 mm AL 두께의 선질을 얻었다.

X-선에 노출시키지 않은 IP의 offset 값은 22였다. 이것은 IP를 이레이저 하여도 offset가 발생하며 항상 이 값을 보정해 주어야 한다.

time scale법에 의해 관전압(단상장치 : 82 kvp, Inverter 장치 : 74 kvp)과 관전류(200 mA)를 고정시킨 상태에서 조사시간을 0.01 sec~1.0 sec까지 늘려가면서 실험하여 픽셀 값을 측정하였다. 그러나 조사시간이 13.6초 이후로는 픽셀 값이 포화되고 약 4,000 이상 증가 하지 않는다.

그리고 전리조식 선량계[RADICAL 2026C(60CC)]로 측정한 선량을 측정하여 특성곡선을 작성하였다. 선량값을 로그 값으로 표시한 그래프에서 선량과 픽셀 값이 비례하여 증가되는 곡선을 작도 할 수 있었다. 즉 CR인 경우에

도 증감지/필름계와 같은 방법으로 특성곡선을 얻을수있다. Konica-Minolta CR, Redius 150 장치의 특성 값을 [표 1, 2]에 나타내었다.

초점-검출기간 거리를 150 cm로 하고 검출기 전면에 교정한 선량계(dosimeter)를 고정하였다. 관전압 70~86 kV, 조사선량을 조정하기 위한 필터로서 21 mm AL를 부가하고 mAs를 변화시켜 저 선량부를 먼저 측정하였다.

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 J로 열어 관심영역(ROI)을 「Analyze」 → 「Measure」를 선택하면 ROI내의 최대, 최소, 평균디지털 값을 알 수 있다. 디지털의 경우 증감지/필름 계와 달리 상반법칙이 성립하기 때문에 Time Scale 법에 의한 측정을 한다. CR나 FPD는 $10^{3\sim4}$ 정도의 다이나믹 레인지를 가지고 있기 때문에 넓은 범위로 선량을 변화시킬 필요가 있다. MTF의 계산에서는 슬릿상의 디지털 값을 상대노광량으로 변화해야 하기 때문에 횡축에 디지털 값, 종축에 상대노광량을 잡은 그래프도 그리고 근사함수를 작성해둔다.

그림 5는 그래프의 편향계수 R의 2승은(R은 선형상관계수) 1차의 근사방정식에 대한 것이다.

표 3. 인버터장치 LISTEM REX 650 F

TIME	선량(μR)	PV(픽셀값)
0.05	460	1656.6
0.1	1000	1959.5
0.2	2111	2269.3
0.3	3244	2463.6
0.4	4380	2588.5
0.6	6720	2770.6
0.8	8700	2890.9
1	11040	2996.5
2.7	30000	3397.439
5.4	60000	3671.711
8.2	90000	3832.149
10.9	120000	3945.982
13.6	150000	4034.278

표 4. 단상전파정류장치 LISTEM DXG-325R

TIME	선량(μR)	PV(픽셀값)
0.02	125	1318.3
0.04	435	1736.6
0.05	637	1859.8
0.1	1592	2205.3
0.2	3490	2542.4
0.3	5790	2746.6
0.4	7400	2864
0.5	9320	2959.3
0.8	15110	3184.4
1	18940	3275.4
1.6	30000	3419.439
3.2	60000	3693.711
4.8	90000	3854.149
6.3	120000	3967.982
7.9	150000	4056.278

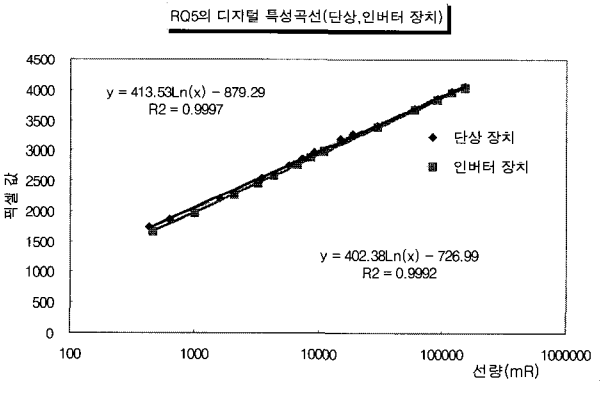

그림 5. RQ5의 디지털 특성곡선

단상전파정류장치 LISTEM DXG-325R, 인버터장치 LISTEM REX 650 F로 촬영한 디지털 값의 기울기가 같은 것을 확인한 후에 두 데이터를 합성하여 Konica-Minolta CR, Redius 150의 특성곡선을 구하였다. 횡축에 선량을 세미 log치로 하면, 디지털 특성곡선이 그래프상에서 일직선상으로 나타나고 있다. 차트에 다른 X선 장치라도 RQ5에서는 선량이 같으면 픽셀값이 비례 한다는 사실을 확인할 수 있다. Konica-Minolta CR, Redius

150의 디지털 특성곡선의 4자리 수 이상의 넓은 다이나믹 레인지를 가지고 있다.

Ⅳ. 고 찰

디지털 특성곡선을 작성할 경우의 X선 조사방법은 Time scale이 편리하며 동일 선질로서 조사선량(mAs) 그림 2와 같이 다른 선질로서 조사하고 합성하는 방법이 있다. 山 崎(야마자키)의 보고에 의하면(그림 6) 선질이 크게 다른 경우에는 입출력의 기울기가 다를 수 있다고 하고 있어서 선질이 다른 노출특성을 합성할 때에는 주의가 필요할 것이다.

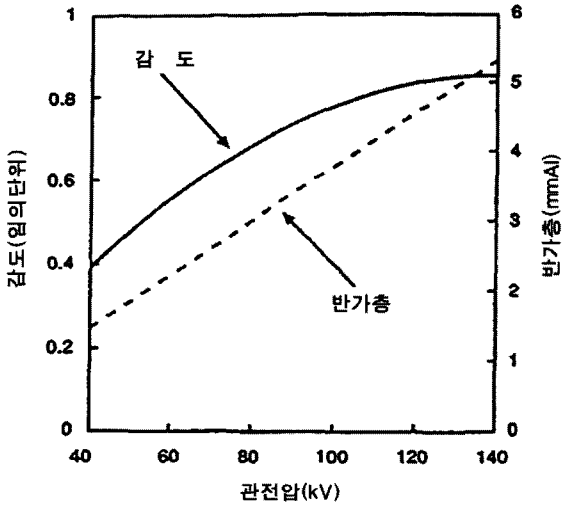

그림 6. FPD에 있어서 선질과 상대감도

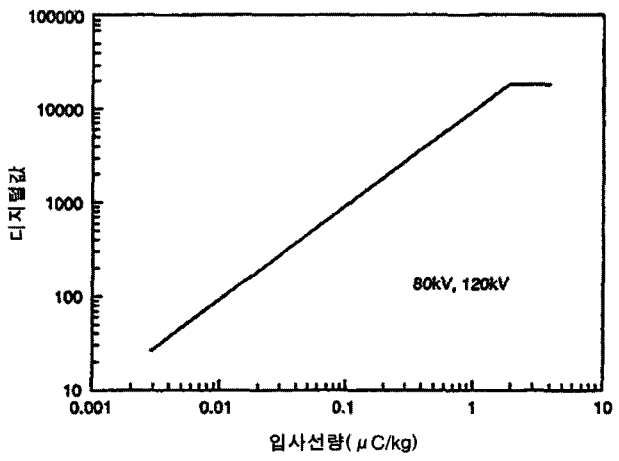

그림 7. QX/i FPD의 관전압 80 kV와 120 kV의 디지털 특성곡선

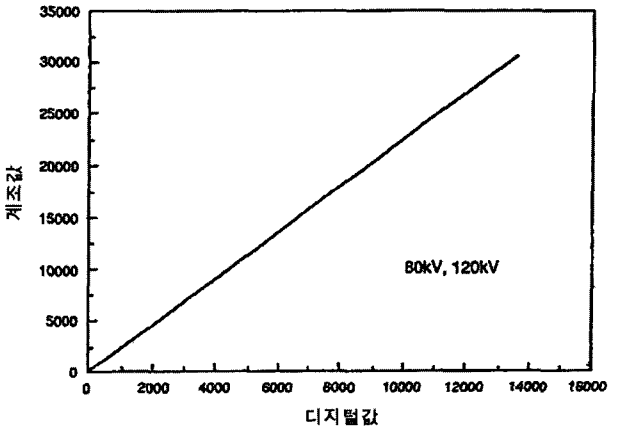

그림 8. CXDI FPD의 관전압 80 kV와 120 kV의 계조곡선

告田 등은 GE Revolution QX/i 의 디지털 특성곡선을 측정하여 보고하였다. 초점-검출기간 거리는 180 cm이고 Time Scale법을 이용하였다. 관전압은 80 kVp와 120 kVp를 사용하였으나 두 선질에 의한 입출력 특성의 차이는 없는 것으로 나타났다(그림 7,8). 이와 같이 디지털 특성곡선은 디텍터와 A/D 변환기에 의해 약간의 차이가 있을 수 있으며 선질 등에 따라 서는 차이가 있는 FPD도 있고 차이가 없는 디텍터도 있다는 것을 알게 되었다. 참고로 현재 시판되고 있는 FPD로서 화질특성에 대하여 연구되고 있는 디텍터를 표 5에 나타낸다.

표 5. 각 사의 화상검출 시스템(FPD)

메이커	기 종
캐 논	CXDI -II
G E	Revolution XQ/i, Senography 2000D
필립스	Digital Diagnost
시멘스	Thorax FD
홀로직	EPEX
Fuji	CR : 양면집광방식(100㎛, 200㎛)
Konica	CR : BaFI : Eu(87㎛, 175㎛) 여기광산란방지기술
LISTEM	Uni DR(Trixell)

V. 결 론

디지털 특성곡선의 이론적 배경을 복습하여 보고 디지털 특성곡선의 작도법을 제시하였다. 또한 대표적 DR, CR시스템의 특성곡선의 예도 실험하였다. 디지털환경에서도 필름/증감지를 사용할 때와 같은 목적으로 특성곡선은 활용할 수가 있다. 디지털영상의 평가의 맨 처음 단계인 디지털 특성곡선의 작도법을 숙달할 수 있다면 다음 단계인 디지털 MTF, 노이즈파워 스펙트럼, DQE의 계산에도 활용할 수 있으므로 숙지해 줄 것을 요망한다.