

Virtual Digital Test Pattern Method를 이용한 CR 시스템의 영상처리 특성 분석

— Analysis of Image Processing Characteristics in Computed Radiography System
by Virtual Digital Test Pattern Method —

한국의료기기평가연구원 · 고려대학교 보건과학대학¹⁾ ·
인제대학교 서울백병원²⁾ · 부산가톨릭대학교 보건과학대학³⁾

최인석 · 김정민¹⁾ · 오혜경¹⁾ · 김유현¹⁾ · 이기성¹⁾ · 정희원²⁾ · 최석운³⁾

— 국문초록 —

연구 목적은 virtual digital test pattern method을 이용하여 REGIUS 150 CR 시스템의 각 LUT별 프로세싱 커브를 도출하고, Dry Imager의 특성을 파악하여 CR의 영상처리 방법을 분석하는 것이다.

실험은 먼저, CR의 화상데이터에 맞게 virtual digital test pattern 파일을 만들고, 인위적으로 입력하여 virtual digital test pattern step의 변화를 통해 각 LUT(THX, ST, STM, LUM, BONE, LIN)별 프로세싱 커브를 구한다. 그리고 하드카피 이미지를 통해 Dry Imager의 프로세싱 커브도 도출한다. 마지막으로, CR 본체의 영상처리 파라미터들을 변화시켜 각각의 특성을 알아낸다.

실험 결과를 살펴보면, 입·출력 값을 통해 CR 시스템의 입력 다이내믹 레인지의 LUT별 프로세싱 커브를 구하였다. 프로세싱 커브는 모두 곡선으로 이어져 있었으며(LIN mode 제외), 각 커브마다 조금씩 차이를 보였다. 또한 Dry Imager의 프로세싱 커브는 중간부분에만 선형성이 나타났다. 그리고 프로세싱 파라미터의 G value는 기울기와, S value는 감도의 shift량과 관련된다는 것을 알 수 있었고, 선량에 따라 S value가 비례하여 변화한다는 것 또한 유추해 낼 수 있었다.

결론적으로 CR 시스템은 각 회사별로 내부 처리가 다르고, 구조 또한 복잡하기 때문에 내부 영상처리의 파악이 어렵다. 하지만 본 연구에서 사용한 virtual digital test pattern method는 CR 시스템의 내부처리 구조와 영상 파라미터의 변화에 따른 특성을 추정할 수 있으므로, 이 방법을 통해 타 장비의 CR 시스템과 Dry Imager의 전체적인 영상처리 특성을 비교, 분석 가능할 것이다.

중심 단어: 영상처리, Computed Radiography, 계조처리, 계조커브, Virtual digital test pattern

*접수일(2010년 3월 15일), 심사일(2010년 5월 7일), 확정일(2010년 6월 14일)

- 이 연구는 저자 최인석의 고려대학교 일반대학원 석사학위논문
“Virtual Digital Test Pattern을 이용한 Computed Radiography의
특성 평가”를 기초로 작성된 것입니다.

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

I. 서 론

Computed Radiography(CR) 시스템은 기존의 F/S 시스템 대신에 Image Plate(IP)를 사용한 디지털 방사선 촬영법의 한 종류이다. 특히, CR 시스템은 현재 사용하고 있는 디지털 촬영장치 중 sampling된 픽셀 값의 자유로운 컨트롤을 가능하게 하고, 처음으로 디지털화가 되었다는 것에 큰 의미를 가진다.

CR 시스템의 흐름을 살펴보면, 먼저 X-선 촬영 후 잠상이 형성된 IP를 영상판독기에 삽입하면 IP에 레이저빔이 주사되고 IP에서는 빛 신호를 발생하게 된다. 영상판독기 내부에서 이 신호를 모아 광증배관으로 보내어 증폭시킨다. 이것을 전기신호로 변화시키고, A/D 변환기에서 디지털 영상신호로 전환하여 영상처리로 보낸다. 영상처리기는 영상신호를 진단 목적에 맞게 각종 영상처리를 하여 출력장치를 통해 필름이나 화면에 출력하게 된다. 이러한 CR 시스템의 처리 과정에서 많은 데이터들을 어떻게 프로세싱 할 것 인가하는 문제가 중요한 문제로 부각되었고, 이를 위해 CR 시스템의 영상처리에 화상인식기능을 탑재한 자동계조처리(Exposure Data Recognition, EDR)가 구비되어 계조타입에 적절한 수신 관용도와 감도치를 제공하게 되었다^{1,2)}.

이 영상처리 파라미터들로부터 얻을 수 있는 CR 시스템의 특성은 화상의 평가, F/S 시스템과의 비교, 다른 기종 간의 비교 등에 필요한 중요 정보들 중 하나이다. 특히, CR 시스템은 IP의 데이터를 수신하여, digital value로 변환한 뒤, 수치계산을 행하므로 입력 데이터를 조작하고 출력데이터를 측정할 수 있다면, 입·출력의 관계로부터 그 내부 처리의 내용을 명확하게 알 수 있고, 프로세싱 파라미터를 추측할 수 있다고 생각된다³⁾.

본 연구에서는 virtual digital test pattern method에 따라 CR 시스템의 내부 영상처리 특성을 측정하였다. 여기서 virtual digital test pattern method는, binary editor를 사용하여 컴퓨터에서 임의로 제작한 virtual step pattern 파일을 CR 시스템에 입력하여, 하드카피 및 출력파일을 출력하는 것으로서 프로세싱 커브를 측정하는 방법을 말한다⁴⁾. 본 연구에서의 프로세싱 커브는 입력 픽셀 값으로부터 환산된 가상적 노광량과 필름농도의 관계를 나타내는 것이고, 상대 X-선량 대 출력 픽셀 값에서 나타낼 수 있는 디지털 특성 곡선, 입력신호 대 필름농도를 나타내는 calibration 커브, 이어서 상대 X-선량 대 필름농도를 나타내는 overall 특성곡선들도 측정하였다. 또한 그것을 결정하는 파라미터의 변화에 따른 프로세싱

의 변화를 파악하였다.

II. 실험 재료

- Computed Radiography system : REGIUS model 150, KONICA MINOLTA
- Dry Imager : DRYPRO model 771, KONICA MINOLTA
- Image Viewer : π -View, INFINITT
- Densitometer : PDA-100, KONICA MINOLTA
- Binary Editor : HEX Editor NEO, HDD software
- Medical Image software : Image J, NIH
- Calculation software : EXCEL, Microsoft
- Chest Phantom : Chesst Real Bone model 76-683-3000, Cardmal Health Inc.

III. 실험 방법

1. Virtual Digital Test Pattern의 제작

Virtual digital test pattern 파일(이하 virtual 파일)을 만들기 위해 binary editor 프로그램(Hex Editor NEO, HDD software)을 사용하여 8×10 inch size(pixel size: 175 μ m), 1140×1430 matrix, 12 bit의 gray scale로 설계하였고, 이 때 step의 수는 33 step과 17 step을 하나의 이미지 속에 작성하였다(Figure 1).

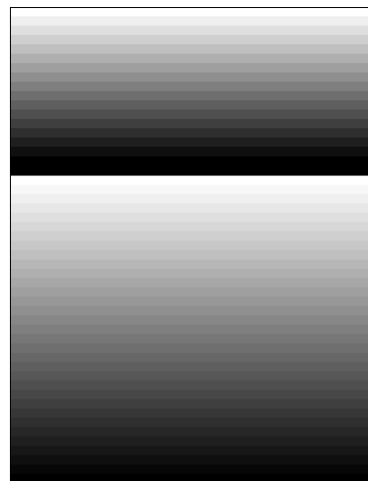


Fig. 1. Raw image of virtual digital test pattern

각 회사별로 화상데이터의 구성이 다르기 때문에, 실험에 사용하는 CR 시스템(REGIUS model 150, KONICA MINOLTA)의 raw data 형식에 맞추어 virtual 이미지 파일을 제작하여야 한다. REGIUS 150 CR 시스템의 raw 파일은 확장자 img, 농도 분해능 12 bit의 비 압축파일로, header가 없고 little endian의 상태이다.

2. Virtual 파일의 입·출력 특성 및 LUT 특성

Virtual 파일의 입력은 CR 시스템에 8×10 inch size의, 임의의 IP를 스캔하였다. 그 다음 임의의 IP를 스캔한 결과로 생성된 파일의 파일명과 소속폴더를 검색하여 binary editor 프로그램으로 제작한 virtual digital test pattern의 화상 파일을 그 파일에 덮어쓰기 하였다. 이 덮어쓰기 된 출력 파일은 Image Viewer(π-View, INFINITT)를 이용하여 DICOM 파일로 출력하였다.

그 다음 CR 시스템에서 IP의 전 발광영역을 픽셀 값(0~4096)으로 할 경우, 입·출력 픽셀 값의 관계를 시스템 내부의 gradation 커브로 출력하여 Look-Up Table(LUT)을 측정하였다. REGIUS 150 CR 시스템의 FIX 프로세싱에서 각 LUT 선택하고, default의 S value와 G value에서 virtual digital test pattern을 계조 처리하는 것으로 기본 LUT를 획득하였다.

3. Exposure와 S value에 대한 응답 특성

본 실험에 사용된 REGIUS 150 CR 시스템은 다이내믹 레인지에 농도분해능을 0~4095로 할당하고 있다. 하지만 문제는, 입력 픽셀 값과 그에 따른 상대 노광량의 관계이며, 여기서 S value의 변화에 따른 상대노광량의 차이를 확인해 볼 필요가 있었다⁵⁾.

S value를 S1로부터 S2까지 증가시켰을 경우, 그 비율의 대수치는 ΔE_{in} (입력 상대 노광량 차이)가 된다.

$$\Delta E_{in} = \text{Log}(S2/S1) \dots\dots\dots (1)$$

또한, S1과 S2의 입·출력 픽셀 값 그래프에서 동일 출력 픽셀 값에 따른 입력 픽셀 값의 차이를 SS, 리딩계조도를 DD, 입사 X선량의 다이내믹 레인지의 지수를 KK라고 한다면, 출력 픽셀 값의 노광량 차이 ΔE_{out} 는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\Delta E_{out} = (SS/DD) \times KK \dots\dots\dots (2)$$

결국, 위의 식 (1)과 (2)에서 구한 ΔE_{in} (입력 상대 노광량의 차이)와 ΔE_{out} (출력 상대 노광량 차이)를 비교하여 노광량과 S value에 대한 응답특성을 분석하였다.

4. Dry Imager의 특성

Dry Imager(DRYPRO model 771, KONICA MINOLTA)의 특성을 측정하기 위해서 virtual 파일을 FIX 프로세싱의 LIN-01 mode로 입력하였다. 그리고 하드카피 된 필름의 각 step 농도를 측정하여 Dry Imager에서 입력 픽셀 값 대 Dry Imager의 필름농도를 비교하였다.

5. Exposure Data Recognition(EDR) 특성

CR 시스템의 EDR 특성은 exposure data, 감도 처리, 계조 처리를 보여주는 종합적인 표현방법으로, 조사선량이 IP에 입사하여 CR 시스템을 거쳐 필름으로 출력되는 것까지의 전체적인 시스템의 처리과정을 알 수 있다.

EDR 특성을 구하기 위해 위에서 측정한 프로세싱 커브, exposure와 S value에 대한 응답 특성, Dry Imager의 특성을 이용하였고 총 사분면의 그래프와 최종출력인 Dry Imager에서의 필름출력까지의 처리과정을 각각 그래프들을 연동하여 사분면으로 나타내었다. 여기서 사분면은 X-선량과 IP의 휘진 발광량의 관계를 나타낸 그래프(제1사분면), LUT에 따른 휘진 발광량과 출력 픽셀 값의 관계 그래프(제2사분면), Dry Imager의 계조처리 그래프(제3사분면), 그리고 X-선량과 출력 픽셀 값의 그래프(제4사분면)이다. 이 때, 제1사분면의 X-선량과 IP의 휘진발광량의 관계 그래프는 직선관계로 간주하여 고정하였다.

6. 이미지 프로세싱의 파라미터 특성

Film/screen 시스템에서 프로세싱 커브의 특성을 결정짓는 파라미터에는 계조도와 감도가 있다. 각 회사의 CR 시스템마다 고유의 파라미터를 정의하고 있으며, KONICA MINOLTA CR 시스템은 이것을 G value와 S value로 표현하고 있다. 여기서는 이 G value와 S value를 변화시켜 각각의 프로세싱 커브를 구하고 분석하여 그 특성을 알아 보았다.

1) G value

Virtual 파일을 FIX 프로세싱의 THX-01 mode(G 1.81, S 250)로 스캔하여, S value는 고정하고 G value를

0.90, 1.81, 3.62로 각각 변화시키며 처리하였다. 영상처리된 DICOM 파일에서 각 step의 출력 픽셀 값을 측정하여 세 개의 프로세싱 커브를 구하였다. 결과 그래프에서 직선부의 기울기 변화 관계를 통해 G value의 특성을 분석하였다.

2) S value

G value의 실험과 동일한 방법으로 실험을 하였다. 이때 G value는 고정하고, S value를 124, 250, 501로 변화시켜서 각각의 프로세싱 커브를 구하였다. 그리고 S value의 변화에 따른 입·출력 픽셀 값의 관계 그래프 비교를 통해 S value의 특성을 알아보았다.

3) 선량에 따른 파라미터

모든 촬영조건을 실제 chest PA 촬영조건(120 kVp)과 동일하게 하고, 선량만 1.6 mAs(7 mR), 3.2 mAs(13.4 mR), 6.4 mAs(25 mR)로 변화시키면서 chest phantom (Chest Real Bone model 76-683-3000, CARDINAL HEALTH Inc.)을 촬영하였다. 그리고 스캔 시, 각각의 IP를 auto 프로세싱의 THX-01 mode로 처리하였다. 이 때 각 영상처리의 파라미터 변화와 선량에 따른 파라미터의 변화 값을 분석하였다.

IV. 실험 결과

1. Virtual Digital Test Pattern의 제작

실험 방법에서 제시한 바와 같이, 1140×1430 matrix, gray scale은 12 bit로 하여, binary editor 프로그램으로 제작한 virtual digital test pattern의 영상은 Figure 2와 같다. 왼쪽은 영상 처리되기 전의 raw 파일 영상이며, 오른쪽 영상은 THX-01 mode의 LUT로 영상 처리된 DICOM 영상이다. 두 영상을 비교해보면, CR 시스템의 내부 LUT 처리를 거쳐 각 step마다 진단 목적에 맞게 그 농도가 변화되어 있음을 확인할 수 있다.

2. Virtual 파일의 입·출력 특성 및 LUT 특성

REGIUS 150 CR 시스템의 virtual digital test pattern에 따른 characteristic 커브(LIN-01 mode)는 입력 pixel value에 대한 직선적 응답 특성을 보인다(Figure 3). 즉 입력과 출력이 선형성이 유지되고 있음을 확인할 수 있다. 각각의 step 농도를 측정하는 것만으로 입력 다이내믹 레인지의 전 범위에 해당하는 그래프를 쉽게 구할 수 있었다.

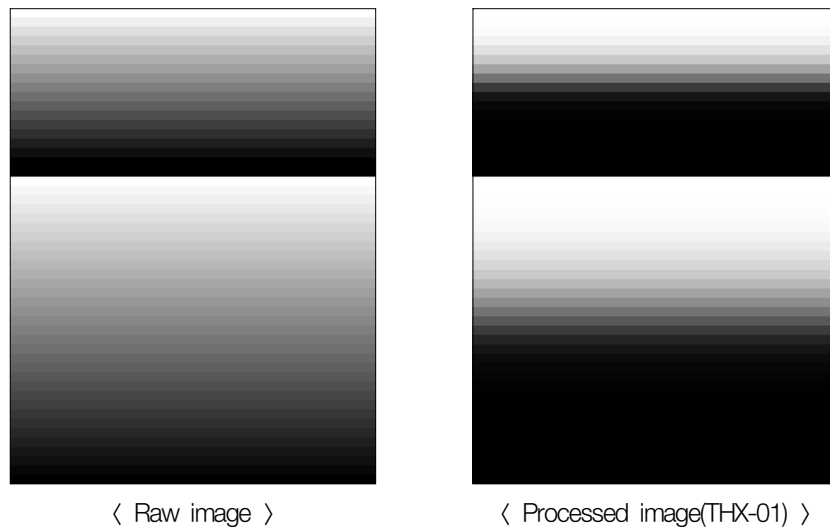


Fig. 2. Raw and processed image of virtual digital test pattern in THX-01 mode

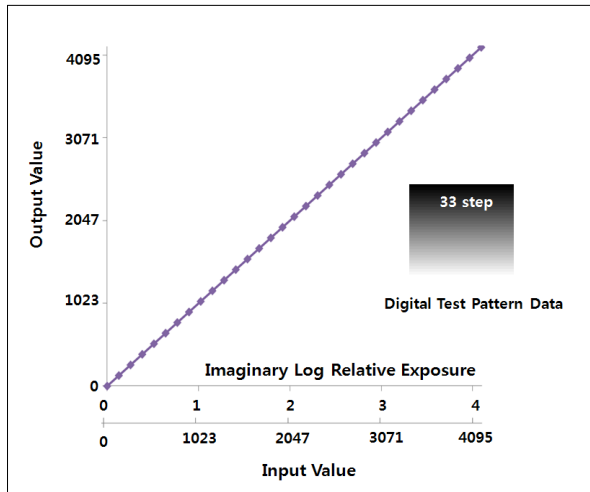


Fig. 3. Characteristic curve obtained by virtual digital test pattern(LIN-01 mode)

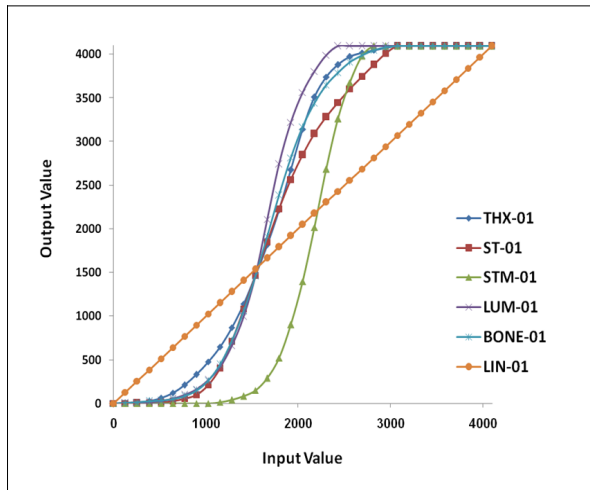


Fig. 4. LUTs of REGIUS 150 CR system, KONICA MINOLTA
(THX-01: Thorax / ST-01: Soft tissue / STM-01: Mammo / LUM-01: Vertebral / BONE-01: Extremities / LIN-01: Linear)

Virtual 파일을 CR reader에 입력하여 그 출력 데이터로 REGIUS 150 CR 시스템의 LUT을 측정하였다(Figure 4). Virtual digital test pattern의 입력에 대한 각각의 출력 특성은 촬영 부위 또는 화상의 출력 목적에 따라 다른 LUT을 적용하고 있음을 알 수 있다. 흉부 PA촬영의 전형적인 THX-01 mode의 경우에는 관용도가 크게 설정되어 있고, 요추 촬영의 LUT인 LUM-01 mode에서는 감도는 흉부 촬영과 거의 같았으나(at 1535) 대조도가 높게 설계되어 있음을 알 수 있다.

3. Exposure와 S value에 대한 응답 특성

Exposure와 S value에 대한 응답 특성, 즉 조사선량과 휘진발광량의 응답특성을 유추하기 위해서 S value의 변화에 따른 입력 노광량과 출력 픽셀 값을 비교했다. 이를 계산한 일례는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta E_{in} &= \text{Log}\left(\frac{S_2}{S_1}\right) \\ &= \text{Log}\left(\frac{293}{146}\right) \dots\dots\dots (3) \\ &= 0.303 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{out} &= \left(\frac{SS}{DD}\right) \times KK \\ &= \left(\frac{310}{4096}\right) \times 4 \dots\dots\dots (4) \\ &= 0.303 \end{aligned}$$

S1과 S2의 입력 노광량 차이는 310이며, 리딩계조도인 4096으로 나누고 입사 X선량의 다이내믹 레인지가 10^4 이므로 그 지수인 4를 곱하면 결과는 0.303으로 동일하므로, S value의 차이는 그것의 pixel value 값의 차이(SS)로 환산할 수 있음을 알 수 있다.

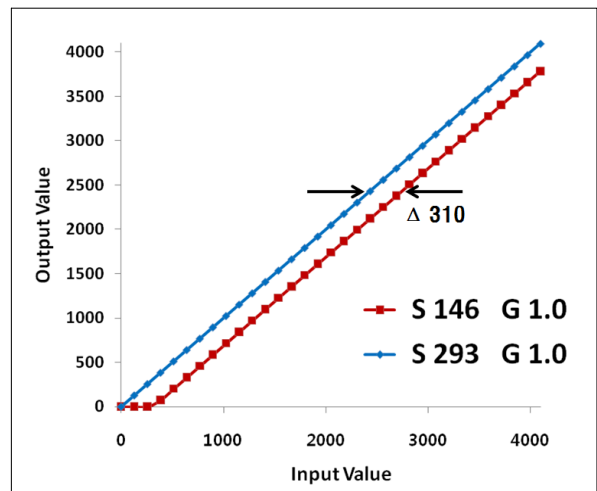


Fig. 5. Relation between input pixel value and output pixel value by the variation of S value (LIN-01 mode)

왼쪽 선은 default S value 293과 G value 1.0을 적용한 LUT이며, 오른쪽 선은 S value를 146, G value를 1.0

으로 적용한 LUT이다. 계산의 결과로 보아, 입력 조사선량에 대해 휘진발광량이 직선적인 경향을 보인다고 할 수 있다(Figure 5).

4. Dry Imager의 특성

DRYPRO 771에 입력된 virtual digital test pattern에 의한 출력 필름농도의 관계는, 평균 계조도(\bar{G})가 3.03으로 film/screen 시스템에 비하여 상당히 contrast 위주의 설정을 하고 있다(Figure 6).

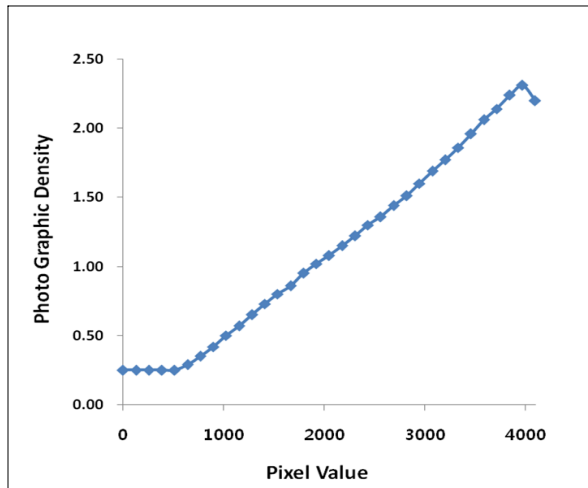


Fig. 6. Relation between input pixel value and photographic density of the Dry Imager(LIN-01 mode)

5. EDR의 특성

CR 시스템의 기본 처리과정인 LIN-01 mode의 프로세싱 특성을 구하였다. 조사선량이 IP에 입사하여 CR 시스템을 거쳐 필름으로 출력되는 것까지의 전체적인 시스템의 처리과정을 알 수 있다(Figure 7).

LIN-01 mode의 EDR 예를 보면, 제1사분면에 X-ray exposure input과 가상 파일의 pixel value를 나타내었으며, 제2사분면은 LUT에 의하여 digital pixel value가 다시 변화됨을 나타내었다. 그리고 제3사분면에서는 Dry Imager로 하드카피할 경우의 photographic density를 나타낸 것이고, 제4사분면은 CRT display의 표시 특성을 나타낸 것이다.

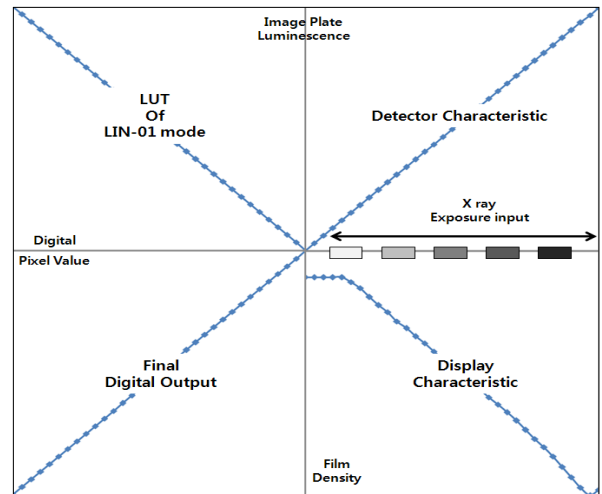


Fig. 7. EDR curve of REGIUS 150 CR system, KONICA MINOLTA(LIN-01 mode)

그리고 흉부 촬영의 전형적인 LUT인 THX-01 mode의 EDR을 살펴보면, 제1사분면에 X-ray exposure input과 가상 파일의 pixel value를 나타내었으며, 제2사분면은 흉부촬영의 진단 목적에 맞는 LUT에 의하여 digital pixel value가 다시 변화됨을 나타내었다. 그리고 제3사분면에서는 THX-01 mode에서 Dry Imager로 하드카피할 경우의 photographic density를 나타낸 것이고, 제4사분면은 CRT display의 표시 특성을 나타낸 것이다(Figure 8).

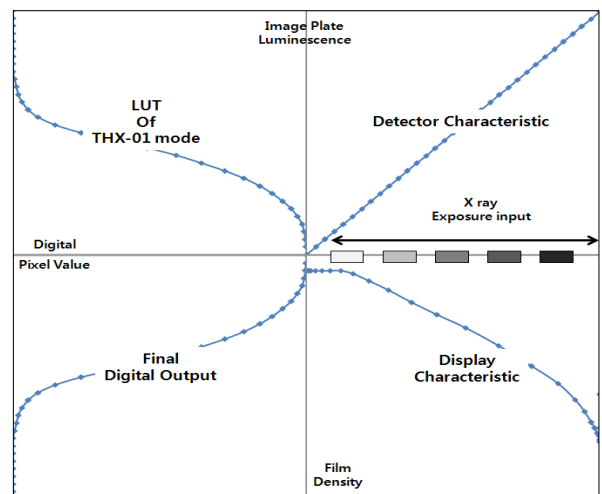


Fig. 8. EDR curve of REGIUS 150 CR system, KONICA MINOLTA (THX-01 mode)

6. 이미지 프로세싱의 파라미터 특성

1) G value

아래 그림은 G value를 0.90, 1.81, 3.62와 같이 비례적으로 변화시켰을 때 측정된 프로세싱 커브를 나타낸다(Figure 9). 그림에서와 같이, 동일한 점을 기준으로 그 기울기가 변화되는 경향을 보인다. 이 때 직선의 기울기는 1차식으로 나타낸 추세선으로 추정한다(Figure 10).

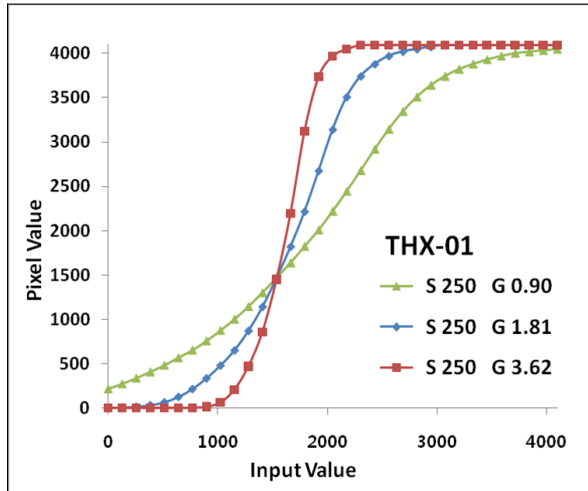


Fig. 9. Processing curves by the variation of G value

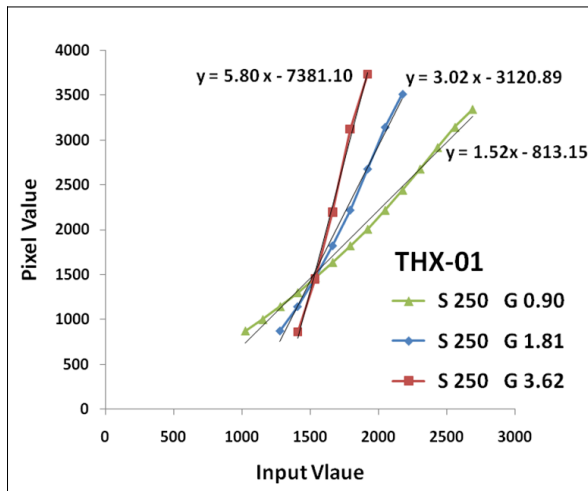


Fig. 10. Linear parts of processing curves by the variation of G value

G value가 0.9일 때, 직선부분 추세선의 식은 $y = 1.52x - 813.15$ 로 기울기가 약 1.5였고, G value를 2배 증가시킨 1.81에서는 $y = 3.02x - 3120.89$ 의 추세선

식을 나타내어 그 기울기가 약 3.02의 값을 보였다. 그리고 G value를 3.62로 한 경우, 추세선의 식은 $y = 5.8x - 7381.1$ 로, 기울기가 약 5.8을 나타내었다. 이것으로 직선의 기울기는 G value의 변화에 의해 기울기가 증가하는 것을 알 수 있다(Table 1).

Table 1. Comparison of processing curves by the variation of G value

G value	Expression of Trend line	
G 0.90	$y = 1.52x - 813.15$	} ≈ 2 times the slope
G 1.81	$y = 3.02x - 3120.89$	
G 3.62	$y = 5.8x - 7381.1$	} ≈ 2 times the slope

2) S value

S value의 변화에 따른 프로세싱 커브를 구해보면, 각 그래프들이 X축 방향으로 일정하게 shift되고 있음을 확인할 수 있다(Figure 11). 이 그래프들의 직선부분을 비교해 보면, S value가 124, 250, 501로 거의 비례적으로 증가함에 따라 그래프들의 기울기에는 큰 변화가 없으며, pixel value가 2000일 때를 기준으로 한 shift량이 395.3, 290.9로 큰 차이 없이 변화됨을 알 수 있다(Figure 12, Table 2).

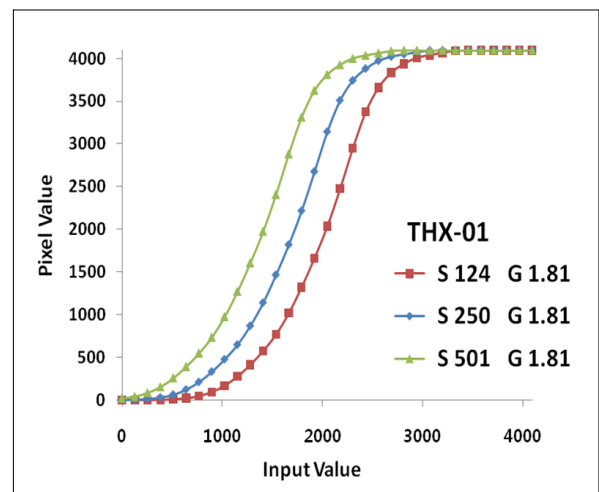


Fig. 11. Processing curves by the variation of S value

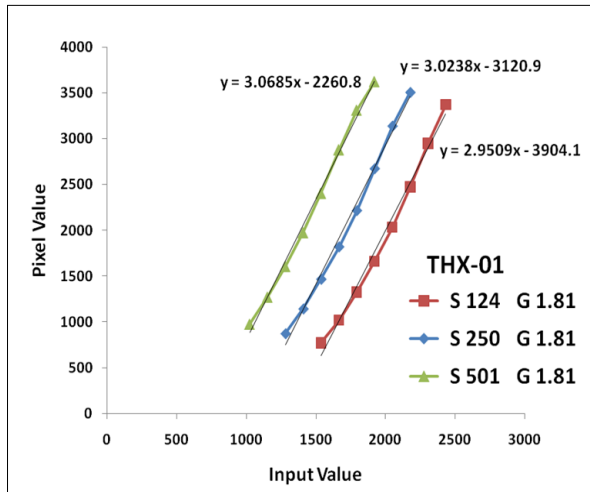


Fig. 12. Linear parts of processing curves by the variation of S value

Table 2. Comparison of processing curves by the variation of S value (if, pixel value = 200)

S value	Expression of Trend line	
S 124	$y = 3.0685x - 2260.8$	} shift: 295,3 } shift: 290,9
S 250	$y = 3.0238x - 3120.9$	
S 501	$y = 2.9509x - 3904.1$	

3) 선량에 따른 파라미터

선량을 일정하게 증가시켜 chest phantom을 촬영한 결과 영상을 살펴보면, 그림과 같이 영상처리 전의 raw 영상에서는 선량에 따른 농도의 차이를 확인할 수 있었다 (Figure 13). 하지만 auto mode로 처리된 processed 영상에서는 적정의 농도값으로 영상 처리되어 출력 영상의 농도는 거의 같아짐을 볼 수 있었다(Figure 14).

촬영 영상들을 auto mode로 설정하고 프로세싱 파라미터의 변화를 살펴본 결과, 선량이 7 mR(1.6 mAs), 13.4 mR(3.2 mAs), 25 mR(6.4 mAs)으로 2배씩 일정하게 증가함에 따라 G value는 2.23, 2.16, 2.14로 나타났으며, S value는 S 36, S 18, S 9로 감소함을 확인할 수 있다.

게다가 이 때 mAs와 S value의 곱이 576으로 모두 일정하였으므로, 선량에 따라 S value가 비례적으로 변화함을 알 수 있었다. 이것은 S value가 영상처리 시, 결과 영상을 동일한 농도로 처리하려는 내부처리과정의 파라미터임을 알 수 있다(Table 3).

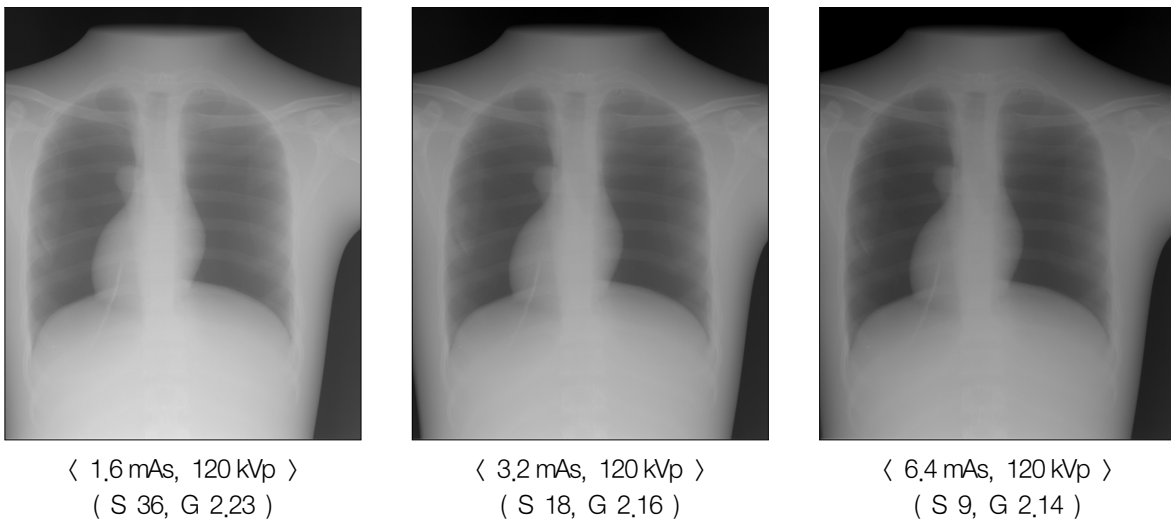


Fig. 13. Raw images of chest phantom by the variation of dose

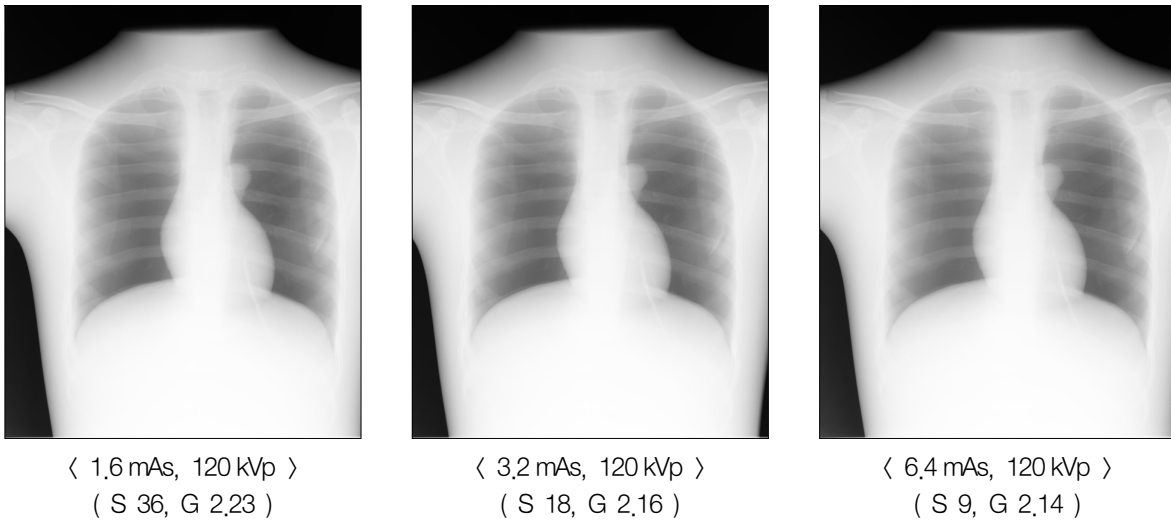


Fig. 14. Processed images of chest phantom by the variation of dose

Table 3. Parameters of processing curve by the variation of dose

Parameter mAs	G value	S value	mAs × S value
16	2.23	36	576
32	2.16	18	576
64	2.14	9	576

V. 고 찰

CR 시스템은 X선 신호를 디지털 영상화하는 시스템이기 때문에 X선 입력과 디지털 출력 화상(pixel value 또는 필름농도)의 관계를 파악하는 것이 중요하다. 더욱이 X선 입력에 대한 각 회사의 LUT이 다르므로 시스템의 분석에 어려움이 따른다. 이와 같은 X선 신호에 대한 디지털 영상신호와 LUT을 알기 위한 방법으로, 가상 파일을 만들고 이 가상 파일을 CR 장치에 입력하여 출력데이터를 분석함으로써, 입·출력 관계를 파악하고 LUT을 알 수 있는 방법을 고안하게 되었다.

먼저, Virtual 파일을 제작할 때는, 각 회사의 장비에 맞는 화상 데이터 포맷으로 만들어야 한다. 특히, pixel size, 농도 분해능, 확장자, endian 등 화상의 포맷이 CR 시스템과 맞지 않으면 파일의 입력이 불가능하며, CR reader의 파일전송 오류가 발생할 수도 있다.

Exposure와 S value에 대한 응답특성 실험결과의 식 (3)과 같이 어떤 노광량의 S value가 293이었다. 거기서

이를 2배하면 노광량의 S value는 146이 되며, 그것들의 비에 log값을 취하면 0.303이 된다. 이 때 pixel value의 차이는 310이 되며, 리딩 계조도 4096으로 나누어 다이내믹 레인지의 지수 4.0을 곱하면, 결과가 0.303으로 동일하다. 이것은 S value가 film/screen 시스템에서 비감도의 개념을 도입한 것이라고 할 수 있다.

디지털 영상 파일을 그대로 진단하는 경우도 있으나, 하드카피 한 필름으로 출력하여 판독, 보관하는 경우가 있으며, display 모니터와 필름 출력 후의 상이 꼭 일치한다고 할 수는 없다. 따라서 Dry Imager 또는 프린터의 특성을 살펴 볼 필요가 있다. 즉, 영상 획득 modality로부터 전송되어진 DICOM 파일을 Dry Imager에서 내부 LUT에 의해, 시각적으로 가장 좋은 하드카피 영상이 출력되도록 하는 것이다. Dry Imager의 특성을 측정할 때는 Dry Imager 내부 LUT을 REGIUS 150의 LIN mode 계조로 선택하여 입력영상 파일에 대한 출력 필름의 농도 관계를 파악한다. 출력 필름의 base+fog 값은 0.25, max density는 2.31이었고, 평균 계조도(\bar{G})는 3.03이었다. 이것은 film/screen 시스템에 비하여 상당히 contrast 위주의 설정을 하고 있다는 것을 알 수 있다⁵⁾.

그리고 CR 시스템의 EDR 특성은 exposure data, 감도 처리, 계조 처리를 보여주는 종합적인 표현방법이다. FUJI 시스템은 EDR의 제1사분면에서 제4사분면을 '입력 선량 - 출력 pixel value - LUT에 의한 display의 영상 - 하드카피에 의한 필름 농도'의 분포로 나타내고 있다. 하지만 KONICA 시스템의 경우에는 제4사분면에서 시작하여 반대 순서로 제1사분면에 하드카피에 의한 필름 농

도 분포를 나타내고 있다. 본 실험 결과에서는 KONICA 시스템이지만 제1사분면에서부터 시작하여 제4사분면에 이르는 순서로 EDR 특성을 순차적으로 표시하였다. 물론, 입력은 virtual 파일의 pixel value이다⁶⁾.

영상처리 파라미터 중 S value와 G value는 정규화특성의 shift량과 기울기를 나타내는 파라미터이지만, 각 회사마다 그 정의는 다르게 표시되어 있다. 전형적인 흉부 LUT인 THX-01에서 S value를 250으로 고정하고 G value는 0.9, 1.81, 3.62로 변화시킬 경우, 기울기는 1.52, 3.02, 5.8로 약 2배씩 증가한다. G value가 film/screen 시스템의 평균 계조도와 같은 factor는 아니지만, 직선의 기울기와 대조도를 변화시키는 파라미터임을 알 수 있다.

REGIUS 150 CR 시스템에서 S value를 결정하기 위해서는 양자화 영역 QR 이란 개념이 필요하다. 이것은 KONICA MINOLTA CR 시스템의 고유의 파라미터로서, S value를 QR 의 신호값이 1535($QR=200$ 으로 읽어, fix 처리했을 때의 출력농도 1.2가 되는 경우)가 되는 detector 도달선량(R)과 계조처리 후 화상에서 필름출력 농도 1.2가 되는 화소의 실제 도달 X-선량(R')의 비를 곱한 값으로 나타낸다. 즉, 이것은 식 $S = QR \times (R/R')$ 로 표현할 수 있다. QR 은 REGIUS 150 CR 시스템의 양자화 영역을 설정하는 파라미터로서, 80 kV에서 1 mR의 선량이 detector에 도달한 경우, 신호값 1535를 출력하는 양자화 영역을 $QR = 200$ 이라고 규정한다⁷⁾.

최종적으로, chest phantom을 7 mR, 13.4 mR, 25 mR의 선량으로 변화시키면서 촬영하고, auto mode의 THX-01 mode로 처리하였다. 이 때 영상처리 전 raw 영상에서는 선량 변화에 따른 농도의 차이를 확인할 수 있었으나, auto mode로 처리된 영상에서는 세 가지 영상 모두 적정 농도값으로 처리되어 출력되었다. 그리고 프로세싱 파라미터의 변화를 확인해보면, G value는 2.23, 2.16, 2.14로 나타났으며, S value는 S 36, S 18, S 9로 감소하였다. 즉 이 결과는 계조처리와 감도처리가 동시에 이루어졌음을 의미하는 것이며, 선량을 나타내는 mAs값과 S value의 곱이 576으로 모두 일정하게 나타났으므로, 결과적으로 선량의 변화에 따라 S value가 자동 설정되는 것은 처리 전의 영상 농도에 감도 처리 값인 S value를 자동으로 설정하여, 영상처리 후 결과 영상을 동일한 농도로 출력하는 것임을 알 수 있다. 여기서 S value, G value, LUT은 그 파라미터가 가지는 역할이 같더라도 회사에 따라서 정의가 달라지기 때문에 그것을 다루는 것은

충분한 주의가 필요하다^{8,9)}.

VI. 결 론

CR 시스템에는 많은 내부처리조건이 있고, 내부를 알기 어려운 구조로 되어 있다. 게다가 피사체나 촬영조건 등 여러 가지 factor가 더해져 각각의 유효한 파라미터를 찾는 것이 곤란하다. 하지만 virtual test pattern method를 통해, CR 시스템의 순수한 내부처리를 이해하고 X선 입력에 따른 화상 파라미터의 변화 특성을 가능한 한 간단하게 예측하는 것이 가능하였다. 또한 각 진단영역에 알맞은 LUT의 pattern을 확인할 수 있었고, 각 파라미터의 특성도 구해보았다¹⁰⁾.

본 연구 결과와 같이, Virtual digital test pattern method는 CR 시스템의 내부 영상처리를 이해하는데 매우 유효한 방법으로서, 향후 이 방법을 통해 구해낸 프로세싱 커브는 다른 기종 간의 처리조건에 대한 비교뿐만 아니라, CR 시스템들 간의 프로세싱 파라미터 관계, 내부처리의 통일도 가능하리라고 생각된다.

참 고 문 헌

1. 정환, 이완, 김문찬: 디지털 의료영상학, 2nd., 정문각, 211-270, 2003
2. J. Anthony Seibert, David K. Shelton, Elizabeth H. Moore: Computed Radiography X-Ray Exposure Trends, Acad Radiol, 3(4), 313-318, 1996
3. J A Rowlands: The physics of computed radiography, Phys. Med. Biol., 47, 123-166, 2002
4. Kenichi Funamizu, Ruriko Yagihashi, Mitsuei Satou, et al: Measurement of Gradation Curve by the Digital Test Pattern Method in a Computed Radiography System, Japanese Journal of Radiological Technology, 60(7), 1000-1008, 2004
5. DRYPRO Model 771 Operation Manual Ver.1.00, KONICA MINOLTA, 2003
6. REGIUS Model 150(DD-341) Operation Manual Ver.1.00, KONICA MINOLTA, 2000
7. Report of AAPM Task Group #116: Recommended

- Exposure Indicator for Digital Radiography
8. 김정민, 김성철, 최종학, et al: 방사선영상정보학, 3rd ed., 신광출판사, 61-74, 2008
9. Shigehiko Katsuragawa(김정민, 김호경 옮김): 의료용 화상정보학, 2nd ed., 대학서림, 54-74, 2008
10. 최인석: Virtual Digital Test Pattern을 이용한 Computed Radiography의 특성평가, 고려대학교 일관대학원 학위논문, 2009

• Abstract

Analysis of Image Processing Characteristics in Computed Radiography System by Virtual Digital Test Pattern Method

In-Seok Choi · Jung-Min Kim¹⁾ · Hye-Kyong Oh¹⁾ · You-Hyun Kim¹⁾ ·
Ki-Sung Lee¹⁾ · Hoi-Woun Jeong²⁾ · Seok-Yoon Choi³⁾

KOREA Institute of Medical Device Assessment

¹⁾*College of Health Sciences, Korea University.*

²⁾*Seoul Paik Hospital, Inje University*

³⁾*College of Health Sciences, Catholic University of Pusan*

The objectives of this study is to figure out the unknown image processing methods of commercial CR system. We have implemented the processing curve of each Look up table(LUT) in REGIUS 150 CR system by using virtual digital test pattern method. The characteristic of Dry Imager was measured also.

First of all, we have generated the virtual digital test pattern file with binary file editor. This file was used as an input data of CR system (REGIUS 150 CR system, KONICA MINOLTA). The DICOM files which were automatically generated output files by the CR system, were used to figure out the processing curves of each LUT modes (THX, ST, STM, LUM, BONE, LIN). The gradation curves of Dry Imager were also measured to figure out the characteristics of hard copy image. According to the results of each parameters, we identified the characteristics of image processing parameter in CR system.

The processing curves which were measured by this proposed method showed the characteristics of CR system. And we found the linearity of Dry Imager in the middle area of processing curves. With these results, we found that the relationships between the curves and each parameters. The G value is related to the slope and the S value is related to the shift in x-axis of processing curves.

In conclusion, the image processing method of the each commercial CR systems are different, and they are concealed. This proposed method which uses virtual digital test pattern can measure the characteristics of parameters for the image processing patterns in the CR system. We expect that the proposed method is useful to analogize the image processing means not only for this CR system, but also for the other commercial CR systems.

Key Words : Image processing, Computed radiography, Gradation processing, Gradation curve, Virtual digital test pattern