

디지털 프린터의 출력특성기반 톤 보정 망점화

신 지 현 · 박 희 윤 · 신 동 료 · 안 석 출

부경대학교 인쇄공학과

(1997년 5월 20일 받음, 1997년 6월 15일 최종수정본 받음)

A Tone Correction Halftone Method Based on Response Characteristic of Digital Printer.

J. H. Shin · H. Y. Park · D. Y. Shin · S. C. Ahn

Dept. of Graphic Arts Eng., Pukyong National University

(Received 20 May 1997, in final form 15 June 1997)

Abstract

We examine various digital halftoning technique and their application to printings. Three such techniques are the error diffusion, cluster dither and disperse dither method. This paper describes a new tone correction halftone method to compensate dot gain. Input digital level are transformed by tone correction characteristic. The function of tone correction are solved from the printer response characteristic. The experimental results show that the proposed method is useful and valid.

I. 서 론

망점화(halftoning)는 연속계조의 영상을 이진수로 표현하는 기술로서, 많은 방법들이 이용되고 있다. 이들 망점화 방법중 가장 많이 이용되고 있는 방법은 디더법(dither method)과 망점 패턴법(dot pattern method)이 있다. 이와 같은 망점화 기술은 옵셋 인쇄뿐만 아니라 디지털 프린터에도 널리 이용되고 있다. 현재 디지털 프린터에 널리 이용되고 있는 망점화

방법중의 하나는 오차확산법이며, 이 방법은 연속계조의 재현능력이 우수하다.¹⁻²⁾

일반적으로 디지털 망점화는 프린터의 출력화소모양이 정사각형이고, 망점확대(dot gain)이 없는 이상적인 경우를 가정하고 있다. 그러나 실제의 인쇄에 있어서 출력화소의 모양은 정사각형이지 못하고 망점확대 등의 영향으로 출력된 인쇄물은 원고보다 어둡게 되며, 특히 중간계조의 재현범위가 좁아지게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 많은 방법들이 보고되었으며, 이들 방법들은 출력된 망점의 기하학적 계산에 기반을 둔 방법과 출력된 인쇄물의 농도에 기반을 둔 방법으로 분류된다. 기하학적 계산에 의한 방법은 프린터로 인쇄된 망점이 일정 크기의 반지름을 가지는 원으로 가정하여, 겹침 면적을 기하학적인 계산으로 산출하여 보상하고 있으며³⁾, 출력된 인쇄물의 농도에 기반을 둔 방법은 겹침 면적을 측정된 농도 값으로 산출하여 보상하고 있다⁴⁾.

그러나 망점을 이상적인 원이라 가정한 기하학적 방법은 출력된 도트의 형상이 이상적인 원이 아니기 때문에 오차의 보상에 한계가 있고, 농도에 기반을 둔 방법은 프린터 모델을 기하학적 방법에 근거하여 몇몇 종류의 경우에 대해서 겹침량을 오차에 합한 다음, 그 오차를 주변화소에 확산시켜 보상을 하고 있으나 아직 약간의 문제점이 남아 있으며, 농도에 기반을 둔 다른 방법은 망점화에 따른 프린터의 출력특성을 고려한 톤 오차의 보정을 저자 등은 보고한 바 있다.⁵⁾

본 논문에서는 디지털 프린터에 의해 원고의 영상을 충실한 재현과 계조범위를 확대하기 위해서 프린터의 출력특성을 이용하여 입력 이미지의 디지털 값을 제어하는 새로운 망점화의 톤 보정법을 제안하고, 제안한 방법의 타당성과 유용성을 실험을 통해서 확인하였다.

II. 프린터의 특성기반 톤보정 망점화

2.1 망점형상과 망점확대

일반적으로 프린터의 출력 망점은 정사각형이고 이웃화소와 겹침이 없다는 것을 가정하고 있으나, 실제로 인쇄된 망점의 형상은 Fig.1의 (a)와 같이 정사각형이 아닐 뿐만 아니라 원도 아니다. 여기서 정사각형의 면적을 a_I 라하고, 정사각형을 벗어난 빗금부분의 면적을 기하학적 망점확대(dot gain) g_{gm} 라 한다. 그리고 Fig.1의 (b)에 표시된 것과 같이 종이 위에 면적이 a_{gm} 인 망점이 잉크(Bk)로 형성되어 있다고 한다. 이와 같은 종이에 빛을 입사시킨 경우, 잉크가 빛을 흡수하는 성질을 가지므로 종이를 통하여 입사된 빛의 일부가 망점보다 큰 a_{op} 의 면적에 걸쳐서 산란되어 인쇄물의 외부로 나온다. 이와 같은 현상으로 실제의 망점면적보다 크게되는 현상을 광학적 망점확대(optical dot gain)라 하

며, 망점화를 위한 이상적인 망점면적(a_I), 기하학적 망점의 면적(a_{gm}) 그리고 광학적 망점면적(a_{op})과의 관계는 다음과 같다.

$$a_{gm} = a_I + g_{gm} \tag{1}$$

$$a_{op} = a_{gm} + g_{op} \tag{2}$$

단 여기서 g_{op} 는 망점면적 a_{gm} 에 대한 광학적 망점확대이다.

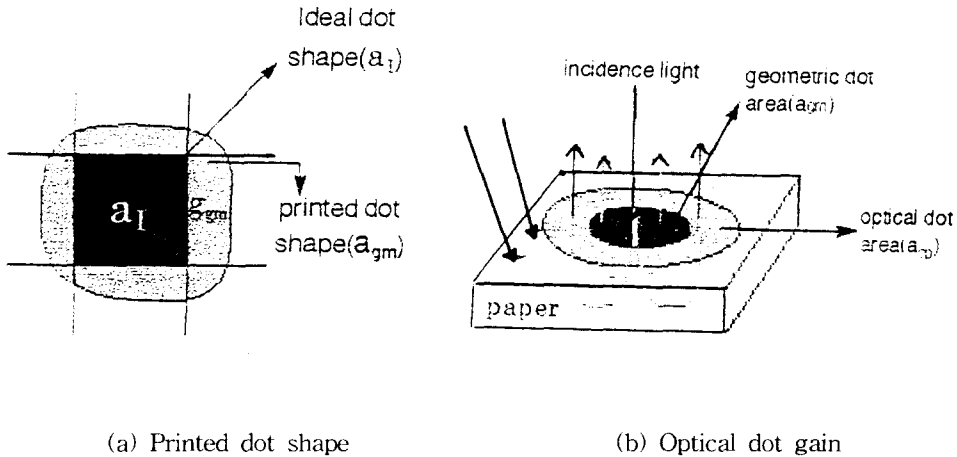


Fig.1 Printed dot shape and optical dot gain

2.2 톤 농도

눈에 들어오는 빛의양(밝기)을 기준으로 하던가, 또는 빛의 흡수량(진하고 열음)을 기준으로 하여 톤(tone)을 표시할 수 있다. 밝기를 기준으로 하는 경우는 톤값(tone value)으로 톤을 나타내며, 진하고 열음을 기준으로 톤을 나타내는 경우는 농도값(density value)으로 톤을 나타낸다. 농도값은 일반적으로 광학적 농도(optical density)라 하며, 사진관계에서는 사진농도(photographic density), 인쇄관계에서는 적산 톤 농도(integrated tone density) 또는 간단히 톤 농도(tone density)라 한다. 망점 면적이 a 인 경우 톤값(t_{va})과 톤 농도(D)와의 관계는 식 (3),(4)와 같다.

$$t_{va} = 1 - a \tag{3}$$

$$D_t = \log_{10} \frac{1}{t_{va}} \tag{4}$$

종이 위에 형성된 잉크의 망점면적과 톤 농도의 관계를 정량적으로 나타낸 Yule-Nielsen의 톤농도 D_t 는 다음과 같다.

$$D_t = n * \log_{10} \frac{1}{1 - a(1 - 10^{-\frac{D_0}{n}})} \tag{5}$$

여기서 D_0 는 잉크의 망점면적이 1인 경우의 광학적 농도값이고, n 은 종이에서 빛이 면적방향으로 확산하는 정도를 나타내는 값이다. 잉크와 망점화의 방법이 같고 사용한 용지가 다른 경우, 빛이 면적방향으로 확산하는 정도가 달라지므로 n 에 따른 톤 농도 곡선은 달라진다.⁶⁾

2.3 프린터의 출력특성기반 톤 보정 망점화

2.3.1 프린터의 출력특성

망점화의 일반적인 블록선도를 Fig.2에 나타내었다. 입력된 이미지의 디지털 신호를 문턱값 Th 에 의해 2치화된 값을 $b_{i,j}$ 라하고, $p_{i,j}$ 는 프린터의 입력신호 $b_{i,j}$ 에 의해 인쇄된 결과이다. 그리고 프린터는 $N \times M$ 의 이진배열 $[b_{i,j}]$ 에 의해 제어되고, $b_{i,j}=1$ 은 화소점(i, j)에 잉크망점이 인쇄된 경우를 나타내며, $b_{i,j}=0$ 는 잉크망점이 인쇄되지 않음을 뜻한다.

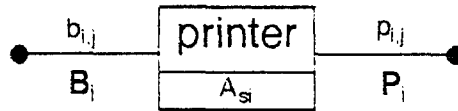


Fig. 2 Printer characteristic according to binary signal

단위면적내에 m 개의 잉크망점이 인쇄된 경우, 망점확대가 없는 이상적인 망점면적을 a 라하고, 실제로 인쇄된 망점의 면적 a_p 는 식(6)과 (7)로 표현된다.

$$a = m * a_I \tag{6}$$

$$a_p = a + m * g_{gm} \tag{7}$$

망점면적이 a 인 경우의 톤을 B_i 라하고, 망점면적이 a_p 인 경우의 톤을 P_i 라 할 때 이들의 선형적 관계는 다음과 같이 표현할 수 있으며, A_{si} 는 프린터의 출력특성을 나타내는 함수다.

$$P_i = A_{si} B_i \tag{8}$$

2.3.2 제안한 톤 보정 망점화

Fig.2에서 프린터의 입력신호 $b_{ij}=1$ 에 대해 발생하는 기하학적 망점확대는 프린터 고유의 특성이다. 따라서 프린터의 기하학적 망점확대를 줄이기 위해서는 하드웨어적인 보정이 있어야 한다. 여기서 프린터 고유의 특성을 보정하지 않고, 이미지의 입력신호에 대한 프린터의 출력신호인 p_{ij} 를 개선하기 위해서 Fig.3과 같은 프린터의 출력특성기반 톤 보정 망점화시스템을 고려한다.

여기서 이미지의 디지털 신호를 $x_{i,j}$ 라하고, X_i 를 디지털 신호가 $x_{i,j}$ 일 때의 톤이라 할 때, X_i 와 B_i 와 P_i 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$B_i = X_i + \beta \tag{9}$$

$$P_i = A_{si} X_i + A_{si} * \beta \tag{10}$$

여기서 β 는 디지털 신호 $x_{i,j}$ 와 이치화 신호 $b_{i,j}$ 사이 에 나타나는 양자화 오차이다. 만약 여기서 β 가 무시할 만큼 적다면 식(10)은 식(11)과 같아진다.

$$P_i = A_{si} X_i \tag{11}$$

이상적인 톤 재현 시스템이라면 X_i 와 P_i 가 같아야 한다. 따라서 식(11)에 표시된 프린터 특성 A_{si} 의 역수인 톤 보정특성 A_{si}^{-1} 를 디지털 신호 $x_{i,j}$ 와 망점화 시스템 사이에 삽입하면 X_i 와 P_i 가 같아진다. 디지털 이미지 신호에 톤 보정이된 신호를 $y_{i,j}$ 라하고, 디지털 신호가 $y_{i,j}$ 일 때의 톤을 Y_i 라 하면 다음의 관계가 성립하며, 톤 보정식 A_{si}^{-1} 는 다항식으로 나타낸다.

$$Y_i = A_{si}^{-1} X_i \tag{12}$$

$$P_i = X_i \tag{13}$$

$$A_{si}^{-1} = A_n x^n + A_{n-1} x^{n-1} + \dots + A_1 x + A_0 \tag{14}$$

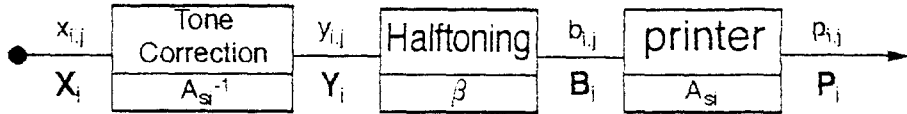
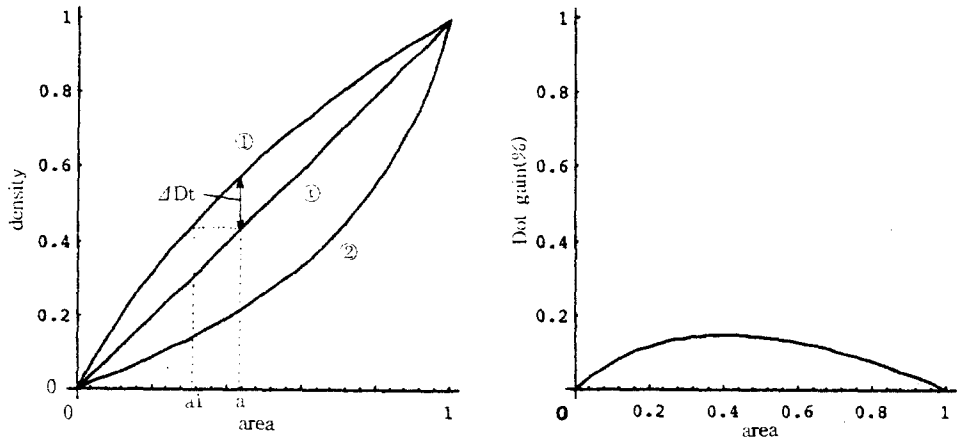


Fig.3 Proposed tone correction halftoning method in binary printer

2.3.3 프린터의 출력특성 함수와 톤 보정함수

Fig. 4(a)는 Yule & Nielson식에서 n 값에 따른 톤 농도특성을 나타낸 것이다. 프린터의 입력신호 $b_{i,j}$ 에 의해 기하학적 망점확대와 광학적 망점확대가 없고, $n=1$ 인 경우는 ②의 특성과 같다. 그러나 실제의 인쇄에 있어서는 기하학적 망점확대와 광학적 망점확대가 나타나므로 대개 ①의 특성과 비슷한 경우로 나타난다. 그리고 사람 눈의 밝기에 대한 특성이 광학적 농도에 대해서 거의 선형적인 것을 고려하여 목표로한 톤 농도특성을 ①로 하였다. 특성곡선 ①과 ②의 톤농도 값의 차이를 ΔD_t 라하고, 망점면적에 따른 농도 차를 Fig. 5에 나타내었다.



(a). Tone density curves

(b). Tone density between ① and ②

Fig. 4 Tone density curves and tone density difference curve between ① and ②

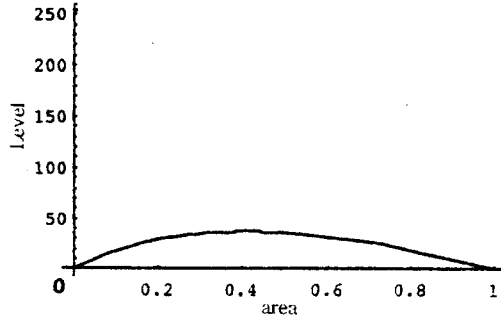
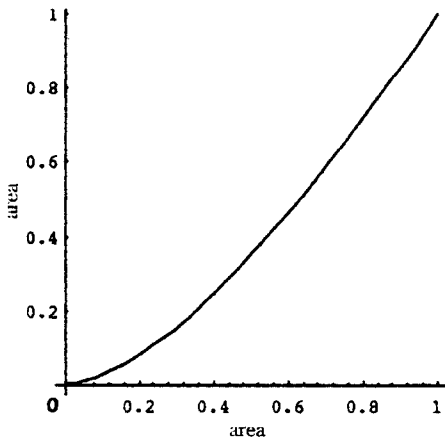
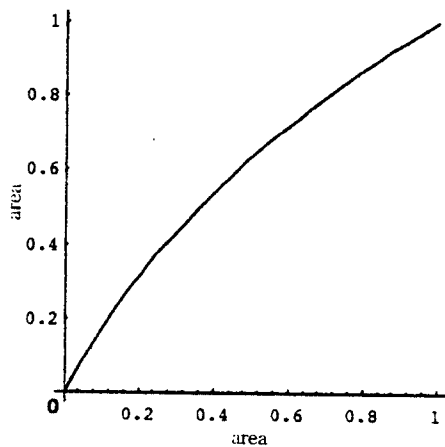


Fig. 5 Level correcton according to dot area

Fig. 4 (b)는 망점 면적에 대해서 목표의 톤 농도값과 실제 프린터 물의 톤 농도값의 차이를 나타내고 있다. 임의의 망점면적 a 에 대해서 ㉠와 ㉡의 차이를 ΔD_{ia} 라하고, $\Delta D_{ia}=0$ 인 경우가 목표로 하는 톤 농도와 실제 인쇄물의 톤 농도가 같아진다. 망점면적 a 에서 목표의 톤농도와 같은 프린터의 망점면적은 a_1 이 된다. 따라서 ΔD_i 에 해당하는 망점면적을 줄여주면 목표의 톤 재현이 얻어진다. 평균적인 망점면적을 줄이기 위해서는 입력 이미지의 레벨값을 변화시키면 가능하게 된다. 여기서 망점면적에 대해서 보정할 ΔD_i 에 해당하는 이미지의 레벨값을 $\Delta x_{i,j}$ 라하고, Fig. 5에 망점면적에 대한 레벨 보정양을 나타내었다. 그리고 프린터의 출력특성 A_{si} 는 Fig.4의 (a)에 나타난 ㉠곡선의 이미지 레벨에 $\Delta x_{i,j}$ 를 뺀 값으로 표현할 수 있으며, 톤 보정특성 A_{si}^{-1} 은 ㉡곡선의 이미지 레벨에 $\Delta x_{i,j}$ 를 합한 값으로 표현되고, 그 특성을 Fig. 6에 나타내었다.



(a) Printer response characteristic



(b)Printer inverse response characteristic

Fig.6 Printer response and inverse response characteristics

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

3.1 망점화 방법에 따른 인쇄물의 톤 농도

실험에 사용한 망점화의 방법은 오차확산법, 분산형 그리고 집중형이며, 이들의 필터는 각각 Fig.7과 같이 구성하였다. 특히 분산형과 집중형은 사용한 프린터의 출력해상도와 이미지의 해상도를 고려하여 5×5 매트릭스를 사용하였다.

프린터의 출력특성을 구하기 위해서 오차확산법은 17단계 그리고 집중형과 분산형은 26 단계의 돗트수에 대해서 출력한 인쇄물의 톤 농도를 Table 1에 나타내었고, 망점면적에 대한 톤 농도 특성은 Fig. 8와 같다. 그림에서 알 수 있는바와 같이 분산형의 경우는 전 영역의 계조가 나타나고 있으나 오차확산법과 분산형의 경우는 중간레벨에서 농도의 포화가 일어남을 알 수 있으며, Fig.9은 망점면적에 대한 망점확대를 나타낸다. 여기서 오차확산법과 분산형은 집중형보다 망점확대가 높은 것을 알 수 있다.

	X	7
3	5	1

24	11	20	16	25
15	6	2	7	12
19	5	1	3	21
10	9	4	8	17
23	14	18	13	22

18	6	25	4	21
2	14	10	17	9
22	12	1	13	23
8	20	11	19	5
16	3	24	7	15

(a) Error diffusion (b) Cluster method (c) Dispersed method

Fig. 7 Used low pass filter and dither threshold matrices

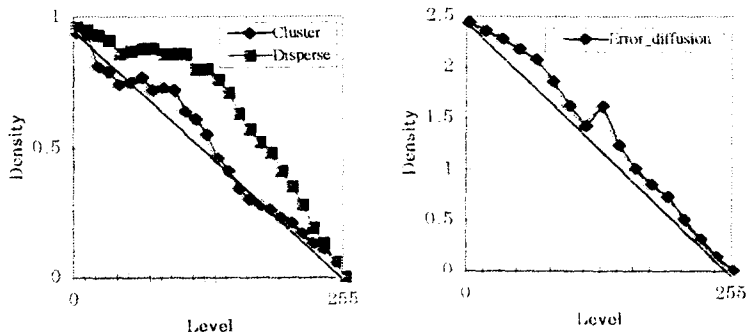


Fig. 8 Tone density characteristics according to three types of halftoning

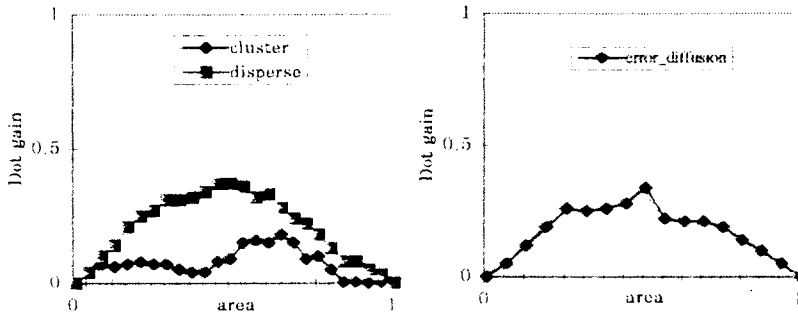


Fig. 9 Dot gain chacteristics according to three types of halftoning

Table 1. Tone density value according to halftoning method

	cluster	Disperse		error diffusion
1	0.94	0.96	1	2.44
0.96	0.93	0.95	0.93	2.36
0.92	0.81	0.93	0.87	2.28
0.88	0.79	0.91	0.81	2.128
0.84	0.74	0.86	0.75	2.076
0.8	0.75	0.87	0.68	1.864
0.76	0.77	0.88	0.62	1.626
0.72	0.72	0.88	0.56	1.422
0.68	0.73	0.86	0.5	1.624
0.64	0.72	0.86	0.43	1.236
0.6	0.64	0.86	0.37	1.01
0.56	0.61	0.8	0.31	0.852
0.52	0.55	0.8	0.25	0.732
0.48	0.46	0.76	0.18	0.506
0.44	0.41	0.71	0.12	0.312
0.4	0.34	0.63	0.06	0.136
0.36	0.3	0.57	0	0
0.32	0.28	0.52		
0.28	0.26	0.48		
0.24	0.23	0.41		
0.2	0.21	0.35		
0.16	0.17	0.28		
0.12	0.13	0.19		
0.08	0.11	0.13		
0.04	0.06	0.06		
0	0	0		

3.2 프린터의 출력특성과 톤 보정특성

오차확산법, 분산형 그리고 집중형 망점화에 의해 출력된 인쇄물의 톤 농도 특성과 목표로 하는 톤 농도특성간의 농도차를 이용하여 프린터의 출력특성과 이에 대한 톤 보정특성을 Fig. 10과 Fig.11에 나타내었다. 이때 목표로한 톤 농도의 특성곡선은 Yule & Nielson의 톤 농도식에서 n 값이 ∞ 인 경우를 선택하였다.

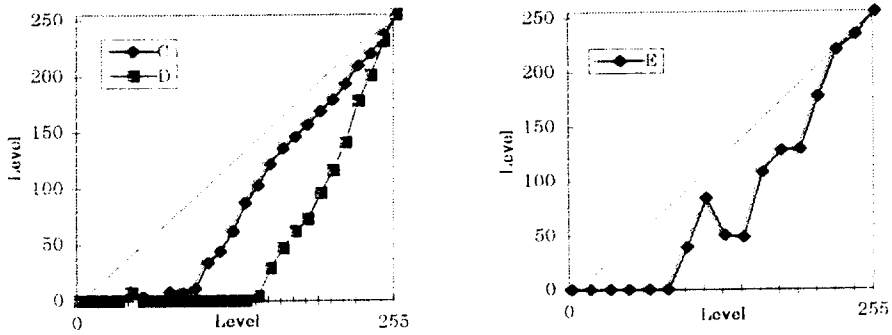


Fig. 10 Printer response characteristics according to halftone method

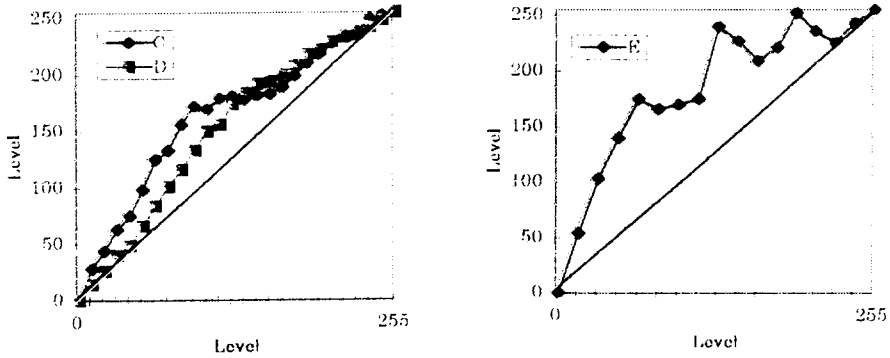


Fig. 11 Tone correction characteristics according to halftone method

3.3 톤 보정 결과의 톤 농도특성

Yule & Nielson의 톤 농도식에서 n 값이 ∞ 인 경우를 목표로 하여 프린터의 출력특성 으로부터 산출한 톤 보정특성을 적용한 결과를 Fig. 12에 나타내었고, Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15은 톤 보정을 하지않은 이미지와 톤 보정을 실시한 이미지를 망점화 방법에 따라 서 나타내었다.

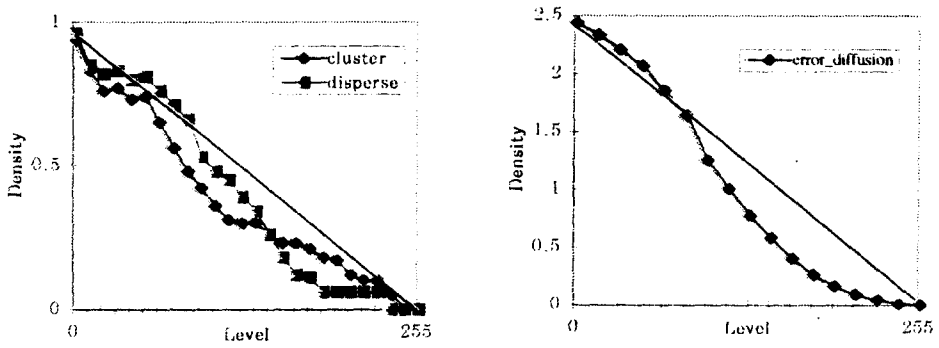


Fig. 12 Tone density characteristics of tone corrected images



(a) original image

(b) Tone corrected image

Fig. 13 Printed image by error diffusion method



(a) original image

(b) Tone corrected image

Fig. 14 Printed image by cuuster dither method



(a) original image

(b) Tone corrected image

Fig. 15 Printed image by disperse dither method

IV. 결 론

디지털 프린터로 단색 이미지의 충실한 톤 재현과 계조범위를 확대하기 위해서 프린터의 출력특성을 이용한 톤 보정법을 제안하고, 제안한 방법의 타당성과 유용성을 확인하기 위해서 실험한 결과 다음과 같은 사실을 확인하였다.

1. 망점화의 방법에 따라서 망점확대가 다르고, 오차확산법과 분산형 디더법이 집중형보다 망점확대가 크게 나타났다.
2. 농도측정에 의한 톤 보정 방법이므로 망점의 형상에 제약을 받지 않는다.
3. 톤 보정결과 새도우와 하이라이트의 농도를 유지하면서 새도우를 2~3단계, 하이라이트를 2~3 단계 그리고 중간 톤의 범위를 8~10단계로 확장되었다.
4. 톤 보정 결과의 이미지는 디테일과 컨트라스트가 큰 이미지를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. R. Ulichney, "Digital Halftoning", pp.1~14, MIT Press, London, 1993
2. K. T. Knox, "Recent Progress in Digital Halftoning", pp.1~5, IS&T Press, 1995.
3. R. Eschbach, "Recent Progress in Digital Halftoning", pp.42~45, IS&T Press, 1995
4. J. H. Kim, E. H. Lee, Y. S. Kim, "A Model Based Error Diffusion for Tone Linearity Correction in Binary Printer", Proc. SPIE, Vol. 3018, pp.266~271, 1997
5. J. H. Shin, H. Y. Park, C. G. Kim, S. C. Ahn, "Digital halftoning method for ink-jet printer", The Spring Conference of The Korea Printing Society, pp.27~30, Apr. 19, 1997.
6. Stefan Gustavson, "Modeling of light scattering effects in print", pp.15~25, Linköping, Sweden, 1995.