

等視知覺 特性에 基盤을 둔 톤 補正 網点化

김종필* · 유건룡** · 김석철*** · 최정병**** · 안석출*

* 부경대학교 인쇄공학과 ** 서울기능대학 인쇄기술학과
*** 동해전문대학 전자계산학과 **** 인천시립전문대학 인쇄과
(1997년 12월 10일 받음, 1997년 12월 22일 최종수정본 받음)

Tone Correction Digital Halftoning Based on Equi-Visual Perception Characteristic

Jong-Pil, Kim · Keun-Ryong, Yoo** · Suk-Chul, Kim***
Jung-Byung, Choi**** · Suk-Chul Ahn**

* Dept. of Graphic Arts Engineering, Pukyong National University
** Dept. of Printing Tech., Seoul Polytechnic College
*** Dept. of Computer Science, Dong Hae Junior College
**** Dept. of Printing, Municipal Junior College of Inchun
(Received 10 December 1997, in final form 22 December 1997)

Abstract

In DTP systems, satisfactory matching the appearance of displayed image on CRT and that of a reproduced binary image is very important. Most halftoning techniques assume that the printed color dots are square. However, most printers produce roughly circular dots. Thus, there is overlap between adjacent dots, and dots occupy adjacent space that should be empty space. These results are because the significant image distortion on the reproduced images. In this paper, we proposed a new tone correction digital halftoning method based on equi-visual perception characteristic.

1. 서 론

컴퓨터와 디지털 신호처리 기술의 발전에 의해 대량의 데이터(data)를 고속으로 처리할 수 있게 되었으며, 정보의 내용도 코-드(code)화 정보로부터 화상 정보로 확대되고 있다. 기록 기술도 종래의 흑백 2치 화상으로부터 컬러 화상으로 변화되고 있으며, 품질도 은염의 화질에 접근하고 있다.

그러나 근래의 기록 기술은 은염 화질에 접근하는 기록재료나 기록방식은 얼마되지 않으며, 열전사 기록, 잉크젯 기록, 전자사진 기록 등의 기술도 대부분 1 화소당 표현 가능한 계조의 수는 얼마되지 않는다. 이와같은 기록 장치에 있어서 계조 표현을 2치 화상으로 표현하는 디지털 망점화(digital halftoning) 방법으로는 디더법(dither method)과 농도 패턴법(dot pattern method)이 잘 알려져 있다. 디더법은 원고의 1 화소를 하나의 출력 화소로 대응시키는 방법이고, 농도 패턴법은 원고의 1 화소를 복수의 출력 화소로 대응시키는 방법이다. 특히 DTP(desk top publishing) 시스템이나 컴퓨터의 출력기로 많이 사용되고 있는 잉크젯 프린터에는 디더방법인 오차확산법이 많이 이용되고 있다.

이상적인 디지털 망점화는 기록된 화소의 모양이 정사각형으로 망점의 확대가 없는 경우이지만, 잉크젯 프린터 등에서 실제 인쇄된 화소의 모양은 망점 확대가 발생하게 되며, 이로 인하여 톤 재현범위가 좁아짐과 동시에 복제물이 전반적으로 어둡게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 출력기의 모델 기반과 출력물의 농도 기반에 의한 톤 보정에 관한 연구들이 보고된바 있으며¹⁻³⁾, 저자 등은 프린트의 출력특성을 이용한 디지털 프린터의 톤 보정방법을 보고한 바 있다^{4,5)}. 출력 특성을 이용한 디지털 프린터의 톤 보정 방법은 기존의 방법에 비하여 간단하며 그 결과도 우수함이 확인되었으나, 이를 위하여 목표로하는 톤 재현특성을 몇종류 설정해 두어야하는 문제점이 있었다.

본 연구에서는 잉크젯 프린터로 인쇄할 때 망점 확대로 발생하는 화상의 왜곡을 보상하는 톤 보정 특성을 구하기 위해서 등 시지각 특성을 이용한 디지털 망점화 방법을 제안하고, 제안한 방법의 타당성과 유용성을 실험을 통해서 확인하는 것을 목적으로 하였다.

2. 디지털 網点化와 等 視知覺 特性

2.1 디지털 網点化

2.1.1 디더법과 농도 패턴법

디더법은 각 화소의 농도를 화소마다 변화하는 문턱값(threshold value)으로 2치화하는 방법이고, 입력화소와 출력화소의 수는 1:1로 대응한다. 디더법에는 조직적 디더법과 랜덤(random) 디더법이 있다. 조직적 디더법은 문턱값이 표현 가능한 계조의 수에 의해서 결정

되는 디더 매트릭스(matrix)와 입력 화소의 좌표위치에 의해서 결정되는 방법이다. 그리고 랜덤 디더법은 고르게 분포되는 난수를 발생시켜서 결정하는 독립 결정방식의 랜덤 디더법과 인접 화소를 고려하여 문턱값을 변동시키는 조건 결정방식의 랜덤 디더법이 있다.

농도 패턴법은 한 화소의 데이터에 대해서 복수의 출력 화소를 대응시키는 방법이고, 입력 화소의 디지털 신호값(이하 레벨값으로 칭함)에 대응한 매트릭스 패턴을 2차원적으로 출력하는 방법이다. 농도 패턴의 설정방법은 여러 가지 있으나, 일반적으로 도트 집중형(clustered type)과 도트 분산형(dispersed type)으로 분류된다.

2.1.2 誤差 擴散 디더법

오차 확산 디더법은 잉크 젯 프린터와 같은 출력장치에서 선예한 화상을 재현하기 위하여 주로 사용되는 방법이다. Floyd-Steinberg에 의해 제안된 이 방법은 현재의 화소에서 나타나는 망점화 오차를 인접한 화소들에게 넘겨주어서 전체적으로 오차를 보상해 주는 방법이다. Fig.1에 오차 확산 디더법의 블록선도를 나타내었고, Fig.2에 Floyd-Steinberg의 오차 확산 필터를 나타내었다. 여기서 $J[m]$ 은 8비트의 디지털 레벨값을 나타내며, $I[m]$ 은 0과 255의 2치화된 레벨값, 그리고 $e[m]$ 은 오차 확산 필터의 가중치를 나타낸다.

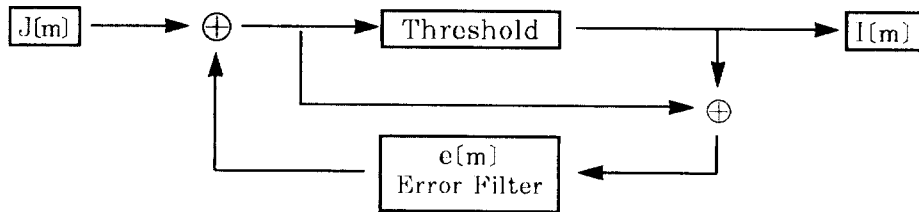


Fig. 1. The error diffusion dithering method.

	X	7
1	5	3

Fig. 2. Floyd-Steinberg's error diffusion filter.

2.2 視 知覺 特性

눈의 수용기는 외부의 물리적인 자극으로 반응하며, 그 자극을 차츰 감소시켜가면 자극을 느끼지 못하게 된다. 이와같이 자극을 느끼지 못하는 한계의 물리적인 자극량을 자극의 문턱값이라 한다. Weber는 어떤 자극의 휘도 L 에 대해서 자극량을 ΔL 만큼 변화시켜 ΔL 에 대한 최소 문턱값 $\frac{\Delta L}{L}$ 를 일정한 값으로 근사시킬 수 있다고 하였으며, 또 Fecher는 시지각 Φ 를 식(1)와 같이 표현하였다⁸⁾.

$$\Phi = k \log\left(\frac{L}{L_0}\right) \quad (1)$$

단 k : 정수, L_0 : 지각이 0인 기준값

2.3 잉크 젯 프린터의 출력특성

디지털 망점화 기술의 대부분은 인쇄된 결과의 돛트 형상이 정사각형이고 이웃 화소에 대해 겹침이 없는 이상적인 경우를 가정하고 있다. 그러나 실제의 인쇄물은 돛트형상이 정사각형이지 못하며, 돛트의 확대에 의해 이웃 화소와 잉크의 겹침이 발생하여 화상이 왜곡되게 된다. 이러한 현상은 디지털 망점의 망점화방법에 따른 원인도 있으나, 프린터에 입력된 신호에 대해서 프린터로 출력되는 잉크량의 왜곡과 종이에 따른 잉크의 기록 왜곡이 인쇄된 화상에 많은 영향을 주게 된다는 사실이 밝혀졌다⁴⁾. 여기서 망점화 방법, 잉크, 종이를 고정시키고 입력신호에 대한 출력된 인쇄물의 휘도 특성에 대해서 생각해 보자. 일반적으로 디지털 신호는 8비트의 계조를 나타내고 있으나, 잉크젯 프린터와 같은 저해상력의 출력기에서는 돛트 확대 등의 원인으로 8비트의 계조를 표현하는 것은 불가능하다. 사용하는 출력기의 특성을 고려하여 n 개만의 계조 표현이 가능하며, 각 단계는 등 시지각차 $\Delta\Phi$ 를 유지 하여야 인쇄된 화상의 충실한 재현이 가능하게 된다.

Fig.3은 프린터의 입력 레벨 값에 따른 프린터의 특성을 나타낸 그림이며, 여기서 $I[m]$ 은 2치화된 입력 신호값을 나타내고, $P[m]$ 는 프린터의 입력 신호 $I[m]$ 에 의해 인쇄된 결과를 나타내며, Φ 는 인쇄된 결과물의 시지각이라 한다.

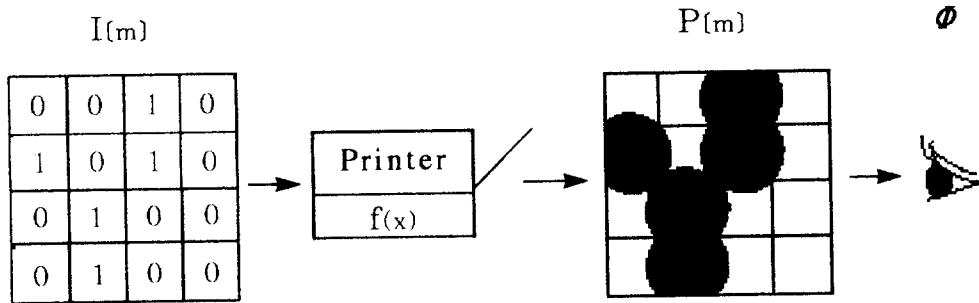
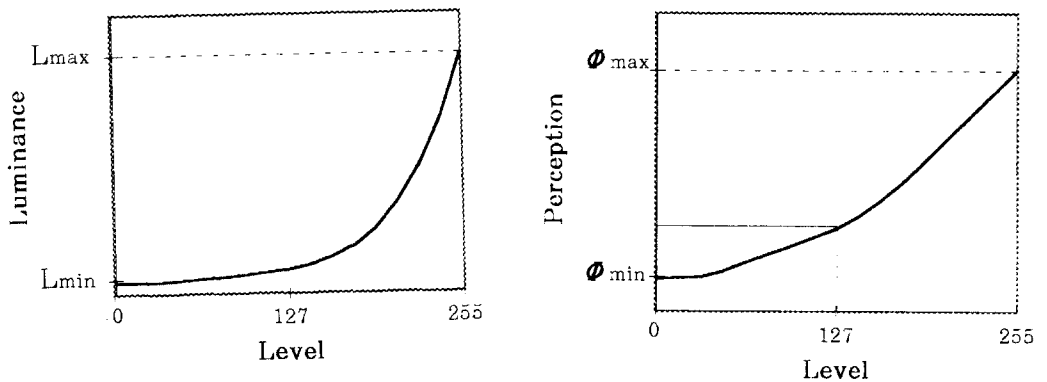


Fig. 3. Printer model for visual perception characteristic.

등 레벨값의 그레이 램프(gray scale ramp) 신호를 Floyd-Steinberg의 오차 확산법으로 2치화하여 잉크젯 프린터로 인쇄한 후 램프의 레벨값에 대한 휘도와 시지각특성을 Fig.4에 나타내었다. Fig.4 (a)는 프린터에 입력된 레벨값으로 인쇄된 시료의 휘도값을 나타내고 있으며, (b)는 입력 레벨값에 대한 시지각을 나타내고 있으며, 이것을 프린터 특성이라 한다. (b)와 같은 프린터의 특성에서는 레벨값이 50%가 되어도 시지각은 30%에 머물고 있으며, 레벨값이 적은 영역에서 시지각차가 적고 레벨값이 높은 영역에서는 시지각 차이가 크게 나타나고 있다.



(a) Luminance characteristic with digital level. (b) Visual perception characteristic with digital level

Fig. 4. The printer response characteristic with digital level

2.4 等 視知覺을 基盤한 프린터의 補正函數

2.4.1 等 視知覺差

N 단계의 그레이 램프(gray scale ramp) 신호를 2치화하여 잉크젯 프린터로 인쇄된 결과물을 N 개의 시험용 패치로 한다. 이들 시험용 패치를 D_{50} 의 표준 광원에서 명시거리에 두고 측정한 N 개의 휘도값을 L_1, L_2, \dots, L_N 라 하며, 각각의 휘도 자극 L_N 에 대한 시각을 Φ_N 라 한다. Fig.4 (a)에 표시된 L_{\min} 은 시료의 최소 휘도 자극 이고 L_{\max} 는 최대 휘도 자극을 나타내고 있다. 그리고 Fig.4 (b)에 표시된 Φ_{\min} 은 휘도자극 L_{\min} 에 대한 시각이고 Φ_{\max} 는 휘도 자극 L_{\max} 에 대한 시각을 나타낸다.

출력기의 특성을 고려하여 N 개의 시험용 패치중에서 등 시각 차 $\Delta\Phi$ 와 n 개의 등 시각 수열 Φ_n 는 식(2),식(3)과 같이 된다.

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{n - 1} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Phi_n &= \{ \Phi_1, \Phi_1 + \Delta\Phi, \Phi_1 + 2\Delta\Phi, \dots, \Phi_1 + (n-1)\Delta\Phi \} \\ &= \{ \Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \dots, \Phi_n \} \end{aligned} \quad (3)$$

2.4.2 等 視知覺을 基盤한 프린터의 補正函數

사용하는 임의의 프린터를 보정하여 인쇄된 결과물이 등 시각 차 $\Delta\Phi$ 를 가지는 n 개의 계조를 재현시키기 위해서 프린터의 보정 함수를 구해야 한다.

우선 Fig.4 (b)의 특성을 가지는 프린터는 입력신호 I_{inp} 를 주었을 때 나타난 결과의 시각특성이다. 그리고 신호 I_{inp} 에 어떤 보정을 한 신호 I_{out} 을 프린터에 입력한 결과의 시각 n 단계에 대해서 등 시각차를 가진다면 보정특성은 Fig.4 (b)의 역함수 특성을 가진다. 그러나 여기서 보정할 수 있는 요소는 망점화 하기전의 디지털 레벨값으로 한정된다.

우선 등 시각 수열 Φ_n 에 해당하는 레벨값 I_{inp} 와 I_{out} 를 식(4)와 식(5)의 수열로 정의한다.

$$I_{inp} = \{ I_{inp 1}, I_{inp 2}, I_{inp 3}, \dots, I_{inp n} \} \quad (4)$$

$$I_{out} = \{ I_{out 1}, I_{out 2}, I_{out 3}, \dots, I_{out n} \} \quad (5)$$

I_{inp} 의 수열을 가로축에 그리고 I_{out} 의 수열을 세로축에 두고 Fig.5와 같이 기점한 것을 프린터의 보정 특성이라 한다. Fig.5로부터 p 차 회귀 분석에 의해 프린터의 보정 함수 $f(\alpha)^{-1}$ 는 식(6)과 같고, 프린터의 출력 특성 함수 $f(\alpha)$ 와의 관계는 식(7)과 같다.

$$f(\alpha)^{-1} = a_0 + a_1 I_{inp} + a_2 I_{inp}^2 + a_3 I_{inp}^3 + \dots + a_p I_{inp}^p \quad (6)$$

$$f(\alpha)^{-1} \cdot f(\alpha) = 1 \quad (7)$$

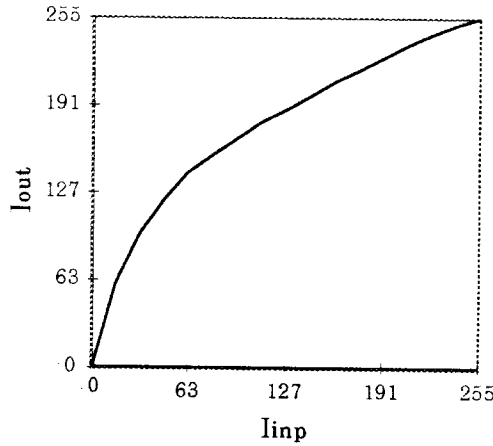


Fig. 5. Tone correction of printer characteristic

3. 실험

먼저 입력 레벨에 따른 CRT 이미지의 자극에 대한 사람의 등 시지각과 Hp850 프린터로 인쇄한 화상의 자극에 대한 등 시지각을 측정하고, 이들을 같은 조건에서 측정한 휘도로부터 식(2)와 식(3)에 의해 등 시지각을 구하여 이들의 상호관계를 확인 하였다. 그리고 이들의 관계로부터 필요로 하는 n 개의 등 시지각 단계를 재현하기 위한 프린터의 특성 함수와 보정 함수를 구하여 톤 보정 망점화를 실현하였다.

실험에 사용한 망점화는 Floyd-Steinberg 오차확산법을 이용하였고, 2치화된 이미지를 Hp850 잉크젯 프린터의 입력 신호로 화상을 인쇄하였다. 인쇄는 PCL(printer control language)로 작성한 프로그램을 사용하여 프린터를 구동하였다. 실험에 사용한 시스템의 블럭 선도는 Fig.6 같다.

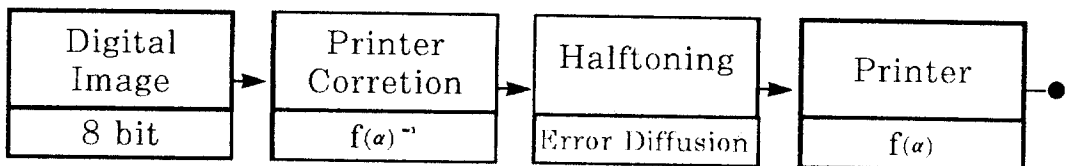


Fig. 6. Block diagram of the described model.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 실험결과

4.1.1 CTR 畫像의 視知覺 特性

디지털 이미지의 레벨값이 0에서 255까지 모두 256개의 시험용 패턴을 만든후 암흑에서 CRT에 재현시킨다. 이 때 CRT의 기초자극은 D_{50} 으로 고정하고 사람에 의한 직접 관측 거리와 휘도계에 의한 측정 거리를 명시거리(50cm)에 두었다. 사람에 의한 시지각 특성은 Fig.7과 같이 3개의 시험용 패치가 등 지각 차이가 되도록 레벨을 조정하였다.

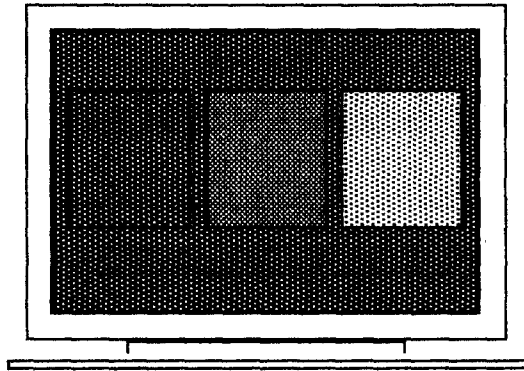


Fig. 7. Observation method for CRT image.

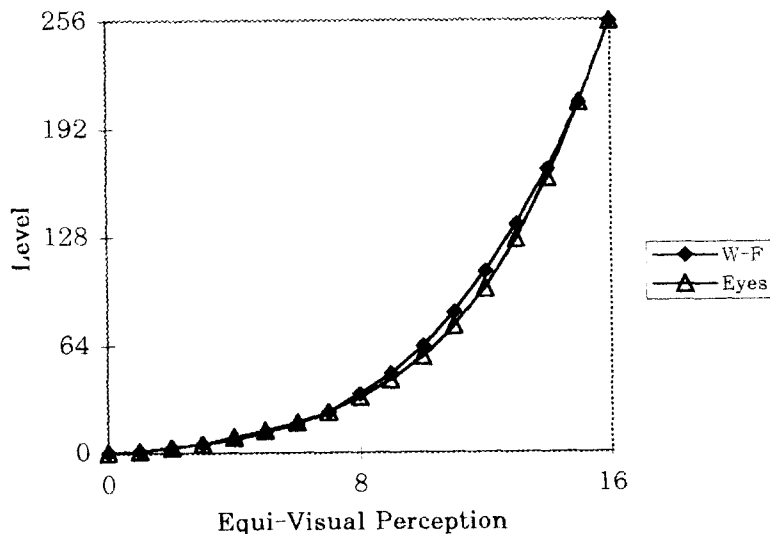


Fig.8 Equi-visual perception and equi-perception level characteristic for the CRT.

실험에 참여한 관측자 수는 6명이고, 이들 관측의 평균 등 시지각 단계의 레벨값과 측정된 휘도 자극으로부터 식(1)~식(3)으로 환산한 등 지각 단계의 레벨값은 Table 1과 같다. 그리고 등 지각에 대한 레벨값의 특성은 Fig.8과 같고, 이들의 상관도는 0.999로 거의 1로 나타났다. 단 평균 등 시지각 단계의 레벨값은 소수점 이하는 반올림 하였다. Fig.8에서 알 수 있는 바와 같이 CRT의 자극은 휘도가 낮은 부분이 휘도가 높은 부분에 비하여 임계 지각의 레벨 단계가 좁게 나타났으며, 등 지각에 대한 레벨값의 특성은 지수함수적 특성을 나타내고 있다. 이 특성은 CRT의 γ -특성에 잘 일치하고 있다.

Table 1. Equi-visual perception and equi-perception level characteristic for the CRT.

The n -steps	Level for equi-visual perception	Level for equi-perception
1	0	0
2	1	1
3	3	3
4	5	5
5	9	8
6	13	12
7	18	17
8	24	24
9	33	35
10	43	47
11	57	63
12	75	83
13	97	107
14	126	135
15	162	167
16	207	207
17	255	255

4.1.2 印刷 畫像의 視知覺 特性

디지털 이미지의 레벨값이 0에서 255까지 모두 256개의 시험용 패턴을 오차확산법으로 2차화하여 Hp850 프린터로 인쇄한 결과를 시험용 패치로 사용하였다. 시험용 패치를 D_{50} 의 표준 광원에서 사람에 의한 직접 관측 거리와 휘도계에 의한 측정 거리를 명시거리(50cm)에 두었다. 실험에 참여한 관측자 수는 CRT의 경우와 같이 6명이고, 이들 관측의 평균 등 시지각 단계의 레벨값과 측정된 휘도 자극으로부터 식(1)~식(3)으로 환산한 등 지각 단계의 레벨값은 Table 2와 같다. 그리고 등 지각에 대한 레벨값의 특성은 Fig.9와 같고, 이들의 상관도는 0.989로 CRT의 경우와 같이 거의 1로 나타났다. 단 평균 등 시지각 단계의 레벨값은 소수점 이하는 반올림 하였다.

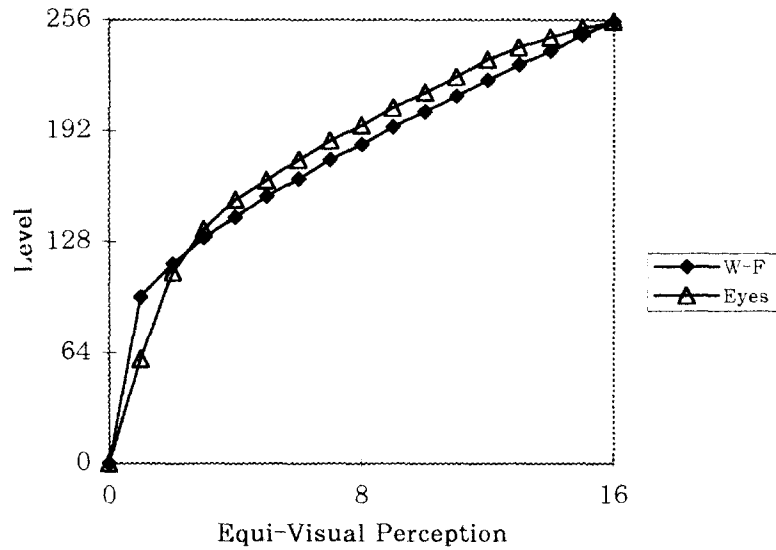


Fig. 9. Equi-visual perception and equi-perception level characteristic for the hard copy.

Table 2. Equi-visual perception and equi-perception level characteristic for the hard copy.

The n -steps	Level for equi-visual perception	Level for equi-perception
1	0	0
2	60	96
3	110	115
4	135	130
5	152	142
6	163	154
7	175	164
8	186	175
9	195	184
10	205	194
11	214	203
12	223	212
13	233	221
14	240	230
15	246	238
16	251	247
17	255	255

4.2 等 視知覺을 基盤한 補正 網點化

4.2.1 等 視知覺을 基盤한 프린터의 補正函數

인쇄 화상에 대해서 관측자의 등 시지각 단계의 레벨값 특성과 등 지각 단계에 대한 레벨값 특성의 상관도가 거의 1라는 결과로 부터 인쇄된 결과물의 등 시지각 특성은 식(1)~(3)으로 구하였다.

프린터의 특성을 고려하여 17개 등 단계로 하여 식(4)의 I_{inp} 와 식(5)의 I_{out} 의 관계는 Table 3과 같고, 이들의 특성은 Fig.10와 같다. 그리고 Table 3의 데이터로부터 식(6)에 의해 6차까지 구한 보정함수 $f(\alpha)^{-1}$ 은 식(8)과 같다.

$$f(\alpha)^{-1} = -3.27 \times 10^{-12} I_{inp}^6 + 4.26 \times 10^{-9} I_{inp}^5 + 2.25 \times 10^{-6} I_{inp}^4 + 5.34 \times 10^{-4} I_{inp}^3 + 6.96 \times 10^{-2} I_{inp}^2 + 5.15 I_{inp} \quad (8)$$

Table 3. The relationship of I_{inp} and I_{out} value

The n -steps	I_{inp}	I_{out}
1	0	0
2	15	96
3	31	115
4	47	130
5	63	142
6	79	154
7	95	164
8	111	175
9	127	184
10	143	194
11	159	203
12	175	212
13	191	221
14	207	230
15	223	238
16	239	247
17	255	255

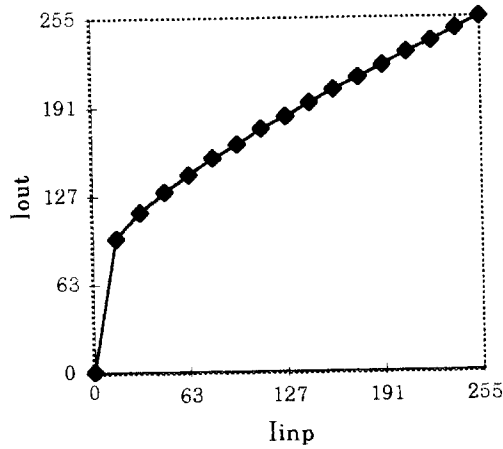
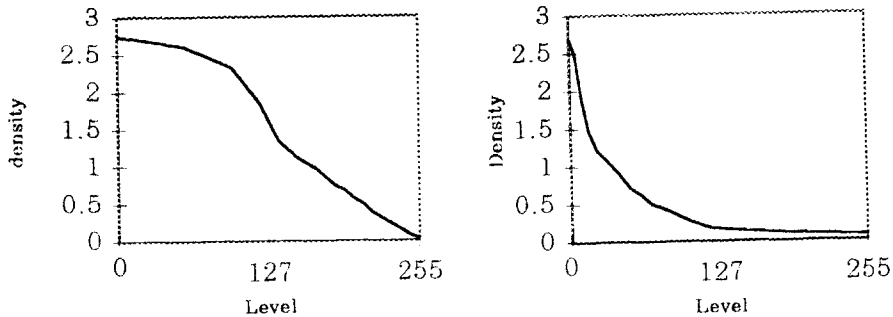


Fig. 10. Tone correction characteristic for I_{inp} value.

4.2.2 等 視知覺을 基盤한 톤 補正 網点化

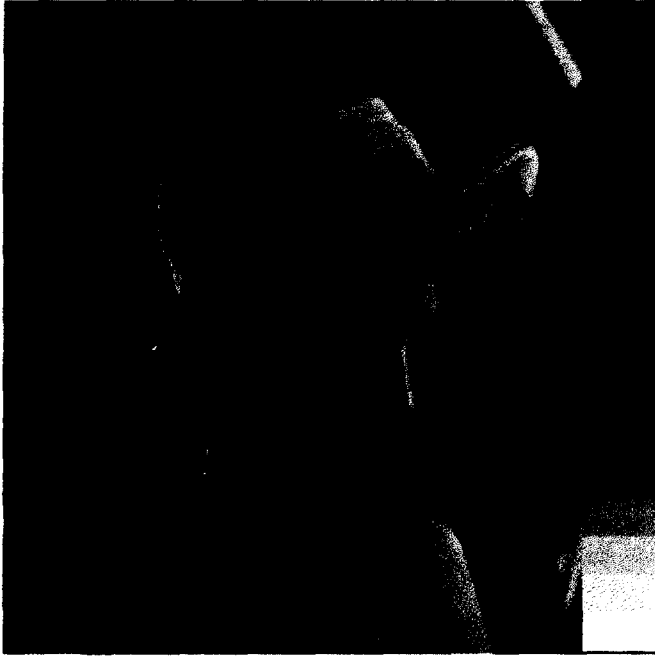
등 시지각 특성을 기반한 톤 보정 망점화 방법의 모델은 Fig.5에 나타낸 바와 같이 Floyd-Steinberg 오차 확산법과 프린터 특성 보정을 조합한 것이다. 기존의 방법과 제안한 방법으로 인쇄한 결과물의 농도 특성은 Fig.11과 같고 Lena 이미지에 대한 출력 결과를 Fig.12에 나타내었다. Fig.11의 농도 특성에서 알 수 있는 바와 같이 톤 보정을 하지 않은 방법은 도트 확대 등의 원인으로 중간 레벨값부터 농도 1.5 이상으로 포화가 일어나고 있으며, 제안한 방법은 레벨값의 전체영역에 대해서 톤 재현이 됨을 알 수 있다.



(a) Conventional method

(b) Proposed method

Fig. 11. Tone density characteristics of the conventional and proposed method.



(a) Conventional method



(b) Proposed method

Fig.12. Printed images of the conventional and proposed method.

그리고 Fig.12에서도 알 수 있는 바와 같이 기존의 방식은 전체 화상이 어둡고 콘트라스트가 낮게 나타났으며 그레이 램프도 17단계중에서 8~9단계만 재현되었다. 그러나 제안한 방법에서는 화상이 전반적으로 밝고 콘트라스트가 높게 나타났으며 그레이 램프도 17단계중에서 15~16단계까지 재현됨을 알 수 있었다.

5. 결 론

잉크젯 프린터에 있어서 망점 확대로 발생하는 인쇄된 화상의 왜곡을 보상하기 위하여 제안한 등 시지각에 기반을 둔 톤 보정 망점화의 방법으로 실험한 결과 다음과 같은 사실을 알았다.

(1) CRT 화상의 자극은 휘도가 낮은 부분이 휘도가 높은 부분에 비하여 임계 지각의 레벨 단계가 좁게 나타났으며, 등 지각에 대한 레벨값의 특성은 지수함수적 특성을 나타내고 있다.

(2) 인쇄물의 자극은 휘도가 높은 부분이 낮은 부분에 비하여 임계 지각의 레벨 단계가 좁게 나타났으며, 등 지각에 대한 레벨값의 특성은 대수함수적 특성을 나타내고 있다.

(3) CRT 화상에 대해서 관측자에 의한 등 시지각 특성과 휘도계에 의한 등 지각 특성의 상관도는 0.999였으며, 인쇄물의 경우는 0.989로 나타났다.

(4) 보정함수 $f(a)^{-1}$ 로 재현 영역이 8~9단계에서 15~16단계로 확대되었다.

이상과 같은 결과로 필요로 하는 n 개의 등 시지각 특성은 휘도 자극으로 부터 간단히 구할 수 있다는 사실과, 등 시지각 특성을 기반한 톤 보정 망점화의 타당성과 유용성을 확인하였다.

參 考 文 獻

1. R. Ulichney, Digital Halftoning, pp.1~14, MIT Press, London, (1993)
2. T. N. Pappas, Digital Halftoning Techniques for Printing, Recent Progress in Digital Halftoning, pp.42~45, (1994).
3. E.H.Lee, J.H.Kim, "A Model Based Error Diffusion Method for Tone Linearity Correction in Binary Printers", The Conference of the Korean Institute of Electronics and the Korean Institute of Communication Sciences(Pusan & Kyong Nam Section), pp.121~125, (1997).
4. 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, (1997).

5. J.H.Shin, H.Y.Park, D.Y.Shin, S.C.Ahn,"A Tone Correction Halftone Method Based on Response Characteristic of Digital Printer", J. of the Korean Printing Society, Vol.15, No.1, pp.71~83, (1997).
6. J.P.Kim, B.W.Seo, J.H.Shin, S.C.Ahn,"A Tone Correction Halftoning Based on Equal Difference Visual Perception", The Autumn Conference of the Korea Printing Society, pp.1~7, (1997).
7. J.P.Kim, B.W.Seo, J.H.Shin, S.C.Ahn,"A Printer Calibration Method Based on Equal Difference Visual Perception", The 8th Annual Conference of the Korean Society for Imaging Science, pp. (1997).
8. 梶 光雄, 印刷・電氣系技術者のための印刷畫像工學, 印刷學會出版部, pp.51~52, (1988).