

# 무아레 抑制用 擬似 랜덤 網点化

\*박 희 윤 \*\*유 건 룡 \*\*하 흥 곤 \*\*\*\*문 영 득 \*안 석 출

\* 부경대학교 공과대학 인쇄공학 \*\* 서울 기능대학 인쇄기술학과  
\*\*\* 동의대학교 공과대학 전자공학 \*\*\*\* 부산외국어대학교 전자공학과  
(1997년 12월 10일 받음, 1997년 12월 22일 최종수정본 받음)

## Moire' Free Pseudo-Random Method in Digital Halftoning

\*Hee-Youn Park \*\*Keun-Ryong Yoo \*\*\*Hong-Gon Ha  
\*\*\*\*Young-Deuk Moon \*Suk-Chul Ahn

\* Dept. Graphic Art Eng., Pukyong National University.  
\*\* Dept. of Printing Tech., Seoul Polytechnic College  
\*\*\* Dept. Electronic Enggeering, Dong Eui University  
\*\*\*\* Dept. Electronic Eng., Pusan University of Foreign Studies.  
(Received 10 December 1997, in final form 22 December 1997)

### Abstract

A color halftoning is the process of generating halftone images for the different color plans, for example, cyan, magenta, yellow, and black for a offset printing device. A conventional halftone technique, so called AM screening, is simple and easy to implement, but the halftoned dot patterns by using this method is not free for the Moire' fringe. Moire' patterns are caused the power spectrum distribution on low spatial frequency domain. To avoid Moire' patterns, the conventional screens require the different screen angles for each color plans.

Recently, Ultra-fine and 7 color printing methods are developed to expend the color gamut. In 7 color printing method must be used the halftone technique of random and blue noise characteristic to avoid Moire' fringe.

In this paper, we proposed a new Moire' free pseudo-random halftone method. Experimental results show that the proposed method is useful and valid for Moire' free halftone technique.

## 1. 序 論

사진이나 그림과 같은 연속 계조의 이미지를 복제하기 위해서는 망점 계조로 변환하는 디지털 망점화(digital halftoning) 과정이 필요하다. 디지털 망점화는 1비트로 연속 계조의 그레이(gray)나 컬러 이미지를 표현하는 기술로서, 이는 공간 주파수 영역에서 저주파적인 시각 특성을 이용한 것이다.<sup>1)</sup> 망점화(halftoning) 기술은 디더법(dither method)과 농도패턴법(dot pattern method)으로 구분되고 있으며, 시각의 공간 주파수 영역에서는 망점 패턴의 주기성(periodic)과 비주기성(aperiodic)으로 구분하고 있다. 돛트(dot)의 형태가 집중된 AM(amplitude modulation)방식과 돛트의 형태가 분산된 FM(frequency modulation)방식이 있으며, 돛트 분산형에서도 잡음(noise)의 형태에 따라서 백색잡음(white noise) 망점화와 청색잡음(blue noise) 망점화로 구분되고 있다. 사용하는 스크린 선수(線數)가 150선 이상인 것을 고급 인쇄라 말하며, 200선 이상인 것을 고정세 인쇄(ultra-fine printing)라 한다. 최근 인쇄 품질의 고급화를 위하여 고정세 인쇄와 색재현 영역의 확대를 위한 4색 이상의 인쇄에 관심이 높아지고 있다. 그러나 4색 이상의 인쇄에서 기존의 망점화 스크린으로 무아레(moire') 억제를 위한 스크린 각도를 결정할 수 없다. 무아레 억제를 위한 새로운 망점화 방법은 1983년 독일의 Damstadt 공과 대학의 출판물에서 FM 스크린이라 표기하였으며, 미국에서는 스토케스틱(stochastic) 스크린으로 소개되고 있으며 국내에서도 무아레 억제를 위한 의사(擬似)랜덤(pseudo random) 망점화에 관한 연구가 보고된 바 있다.<sup>2)~7)</sup> 무아레 억제용 망점화 스크린이 상용화되어 있으나, 국내에서는 무아레 억제용 스크린에 관한 연구와 망점화 스크린들의 공간 주파수적 평가에 관한 연구가 아직 미흡한 실정이다. 본 논문에서는 고정세 인쇄와 4색 이상의 인쇄에 사용할 수 있는 무아레 억제용 의사 랜덤 망점화의 한 방법을 제한하고 망점화된 돛트 패턴의 공간 주파수 평가를 통해서 제한한 방법의 유용성과 타당성을 확인하였다.

## 2. 擬似 랜덤 網点化와 空間 周波數 特性

### 2.1 擬似랜덤 網点化法

일반적인 망점화의 기술은 돛트 패턴의 주기성과 비주기성으로 구분된다. 주기성에는 돛트 집중형(AM 스크린)과 돛트 분산형(FM 스크린)이 있으며, 비주기성에는 백색 잡음의

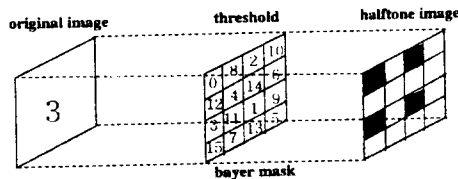
망점화와 청색 잡음의 망점화가 있다. Fig.1 (a)는 주기성 분산형 망점화이고, (b)는 비주기성 분산형 망점화이며, (c)는 의사 랜덤 망점화이다. 주기성 분산형 망점화에 이용되고 있는 Bayer 마스크는 사람의 시각특성이 공간주파수에 대해서 저주파 통과 필터의 특성을 가진다. 따라서 직류성분을 제외한 주파수 성분은 가능한한 고주파 영역으로 이동되도록 문턱값을 정하며 다음과 같은 식으로 나타낸다.<sup>7)</sup>

$$D_2 = \begin{vmatrix} 0 & 2 \\ 3 & 1 \end{vmatrix} \tag{1}$$

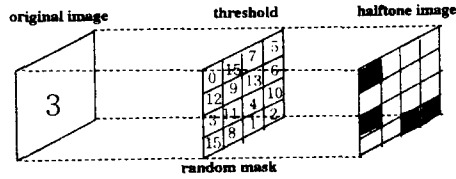
$$U_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \tag{2}$$

$$D_{2n} = \begin{vmatrix} 4 \cdot D_n & 4 \cdot D_n + 2 \cdot U_n \\ 4 \cdot D_n + 3 \cdot U_n & 4 \cdot D_n + U_n \end{vmatrix} \tag{3}$$

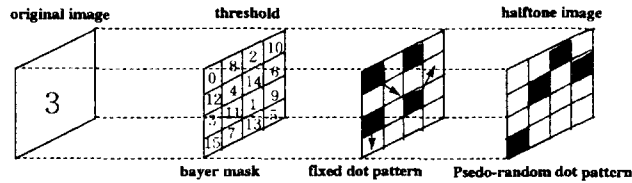
Fig.1 (a)의 주기성 분산형 망점화에서는 임의의 한 화소의 디지털 값이 3이고, 4×4 Bayer 마스크를 예를 들어 나타내었다. 이 방법은 한 화소가 4×4의 출력 화소로 대응되고 있다. 여기서 Bayer 마스크의 문턱값이 원고의 디지털 값 보다 같거나 적으면 검은 도트를 생성하고, 큰 경우에는 흰 도트를 생성하게 된다. Fig.1 (b)의 비주기성 망점화에서는 4×4 랜덤 마스크를 사용한다. 랜덤 마스크에 있는 문턱값의 위치는 원고의 각 화소마다 난수를 발생시켜 결정된다. 그리고 의사 랜덤 망점화 방법인 Fig.1 (c)는 주기성 망점화 과정과 비주기성 망점화 과정을 결합한 것이다. Bayer 마스크를 사용하여 고정된 도트 패턴을 생성시키고, 여기서 검은 도트를 중심으로 자신을 포함한 인접한 9개소에 검은 도트의 위치를 랜덤하게 이동시킨다. 만약 인접한 화소에 검은 도트가 생성되어 있는 경우에는 이동할 위치에서 제외시킨다. Fig.2는 원고의 디지털 값이 127인 경우에 대해서 8×8 마스크로 처리한 도트 패턴을 보여주고 있다.



(a) Bayer ordered method

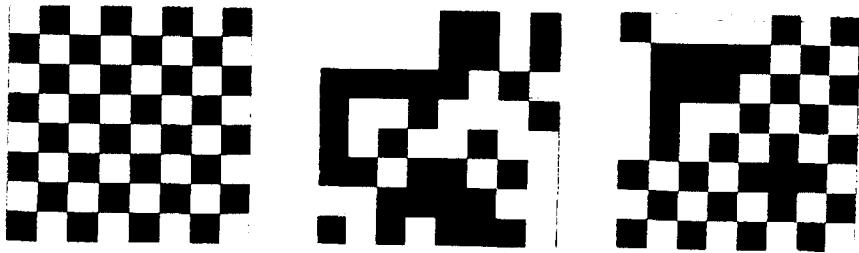


(b) Random method



(c) Pseudo-random method

Fig.1 Dispersed halftoning method.



(a) Bayer ordered dot pattern (b) Random dot pattern (c) Pseudo-random dot pattern

Fig.2 Generated dispersed dot patterns.

## 2.2 패턴의 空間 周波數 解析

### 2.2.1 視覺의 空間 周波數 特性

Fig.3과 같이 길이가  $A$ [mm]이고 폭이  $W$ [mm]인 흑백의 구형 패턴을 거리  $L$ [m]에서 관측한다고 할 때, 공간 주파수  $f$ 는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$f = \frac{1}{2W} [\text{lines/mm}] \quad (4)$$

그리고 길이가  $A$ [mm]인 패턴에 있는 반복 주기의 갯수  $N$ 는

$$N = Af [\text{cycles}] \quad (5)$$

이므로,  $A$ 를 거리  $L$ 로부터 관측하는 각도를  $\theta$  [radian]라 하면 시각의 공간 주파수

$f_V$  는 식(6)과 같이 된다.

$$f_V = \frac{N}{\theta} \text{ [cycles/radian]} \quad (6)$$

한편 인쇄에서는 1[inch]당 스크린 선수로 공간 주파수를 표시하므로, 공간 주파수  $f$  와 스크린 선수  $f'$  [lines/inch]와의 관계는 식(7)과 같다.

$$f' = 25.4f \text{ [lines/inch]} \quad (7)$$

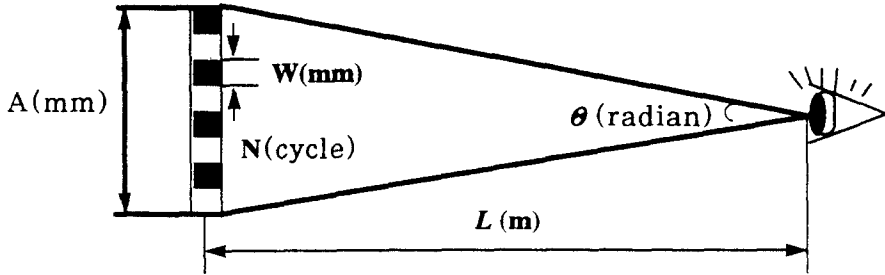
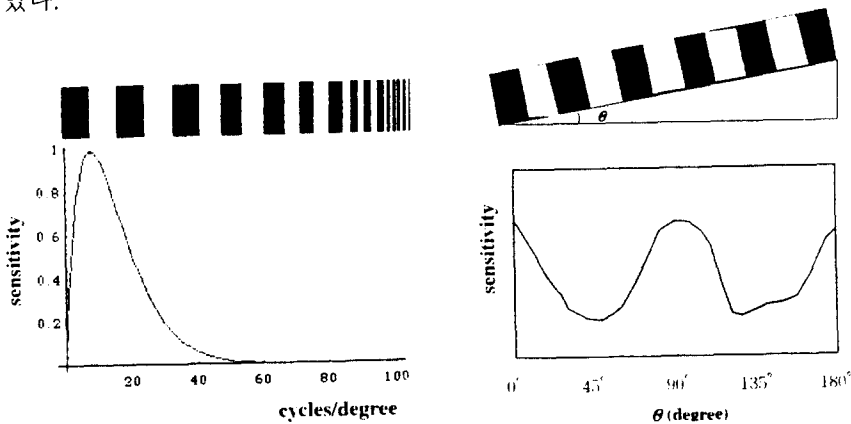


Fig.3 Visual spatial frequency.

망점화는 공간 주파수 영역에서 저주파적인 시각특성을 이용한 것으로, 공간 주파수에 대한 눈의 감도를 눈의 MTF(modulation transfer function)라 하며 Mannos와 Sakrison은 눈의 MTF를 식(8)와 같이 나타내었다<sup>8)</sup>.

$$H(f) = 2.6(0.0192 + 0.114f)e^{-(0.114f)^{1.1}} \quad (8)$$

한편, 눈의 감도는 공간적 방향에 따라 변하며, 공간적 방향이 45° 일 때 최소로 된다. Fig.4 (a)는 공간 주파수에 대한 눈의 감도를 나타내며, (b)는 각도에 대한 눈의 감도를 나타내고 있다.



(a) Characteristic of spatial frequency (b) Characteristic of spatial direction

Fig.4 Visual sensitivity for spatial frequency and direction.

2.2.2 돛트 패턴의 空間 周波數 解析

입의 이미지를  $f(x, y)$ 라 할 때, 그  $f(x, y)$ 의 2차원 Fourier 변환식  $F(u, v)$ 는 식(9)와 같다.

$$F(u, v) = \mathcal{F}[f(x, y)] \quad (9)$$

그리고 Fourier 스펙트럼의 크기는  $F(u, v)$ 의 절대값으로 나타내며, 이미지  $f(x, y)$ 의 Fourier 스펙트럼을 CRT에 나타내기 위한 함수  $D(u, v)$ 는 식(10)과 같다.

$$D(u, v) = \log[1 + |F(u, v)|] \quad (10)$$

그리고  $F(u, v)$ 의 파워 스펙트럼 함수  $\bar{P}(u, v)$ 는 식(11)과 같이 표현된다.

$$\bar{P}(u, v) = |F(u, v)|^2 \quad (11)$$

Fig.5는  $f(x, y)$ 의 2차원 Fourier 평면이 폭  $\Delta$ 의 환상 고리로 나누어지는 것을 보여주고 있다. 여기서  $f_r$ 는 방사(radial)주파수이고 식(12)와 같이 나타내며, 방사적인 평균 파워 스펙트럼  $P_r(f_r)$ 은 식(13)과 같다. 단,  $N_r(f_r)$ 은 각 환상고리에 포함되어 있는 표본의 갯수를 나타낸다.

$$f_r = (u^2 + v^2)^{1/2} \quad (12)$$

$$P_r(f_r) = \frac{1}{N_r(f_r)} \sum_{i=1}^{N_r(f_r)} \bar{P}(u, v) \quad (13)$$

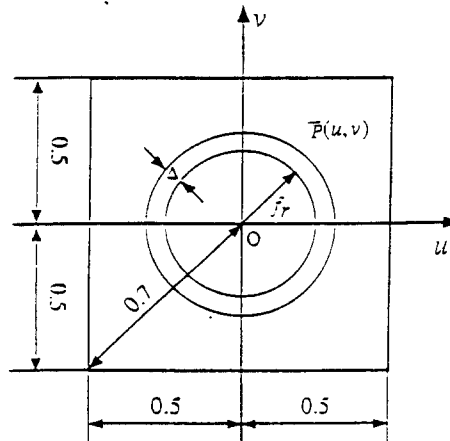


Fig.5 Normalized Radially Averaged Power Spectra.

동일한 방사 주파수에 대한 표본분산을  $S^2(f_r)$ 라 하고 식(14)와 같이 정의 되고 있으며, 이방성(anisotropy)  $S_N$ 은 식(15)와 같이 정의된다.<sup>5)</sup>

$$S^2(f_r) = \frac{1}{N_r(f_r) - 1} \sum_{i=1}^{N_r(f_r)} (\bar{P}(u, v) - P_r(f_r))^2 \quad (14)$$

$$S_N = \frac{S^2(f_r)}{P_r^2(f_r)} \quad (15)$$

### 2.2.3 格子에 의한 무아레

무아레 무늬는 주기성을 가지는 패턴을 중첩시키는 경우에 발생하며, 컬러 인쇄에 있어서 스크린 각도는 무아레가 최소로 되도록 설정하고 있다. 그러나 2치화된 패턴이 비주기성의 경우에는 패턴을 중첩시켜도 무아레 무늬는 발생하지 않는다. 격자의 피치(pitch)가  $d_M$  인 2장의 같은 격자를  $\theta$ 의 각도로 중첩시켰을 때 발생하는 무아레 피치  $D_M$ 는 식(15)와 같이 된다.

$$D_M = \frac{d_M}{2 \sin(\frac{\theta}{2})} \quad (15)$$

## 3. 結果 및 考察

### 3.1 實驗方法

실험은 제시한 무아레 억제용 의사랜덤 망점화를 MATLAB 응용 소프트웨어로 실행하였고, 결과의 2치 패턴을 기존의 망점화 패턴들과 Fourier 영역에서 파워 스펙트럼으로 평가하였다. 그리고 의사랜덤 망점화 패턴의 무아레 발생 관계는 스캐너를 사용하였다. Fig 6과 같이 2치화된 패턴을 HP Color LaserJet 5로 인쇄한 후, 이것을 다시 평판형 스캐너로 입력하여 평가하였다. 이때 스캐너 격자에 대한 2치화된 패턴의 각도변화로 무아레의 영향을 확인하였다.

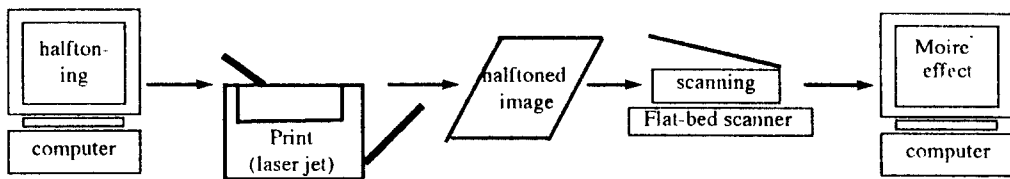
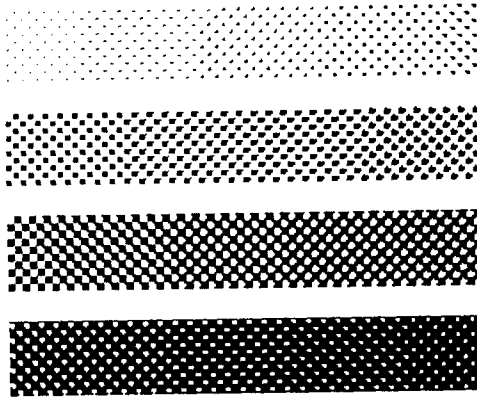


Fig 6 Block diagram of Moire' effect experiment.

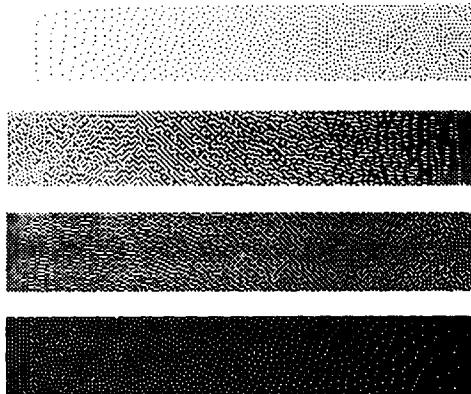
### 3.2 實驗 結果

#### 3.2.1 擬似랜덤 網点化

256단계의 디지털 레벨에서 디지털 레벨값이 15에서 239까지 연속적인 그레이 램프를 원고로 하여, 기존의 집중형과 Floyd-Steinberg의 오차확산법으로 망점화된 결과를 Fig.7에 나타내었으며, 분산형으로 망점화된 결과는 Fig.8에 나타내었다. Fig.8 (a)는 Bayer 방식이고, (b)는 랜덤 방식이며, (c)는 2.1항에서 제시한 방법으로 처리한 무아레 억제용 의사랜덤 방식이다. 본 실험에 사용한 마스크의 크기는 모두  $8 \times 8$ 로 하였다.



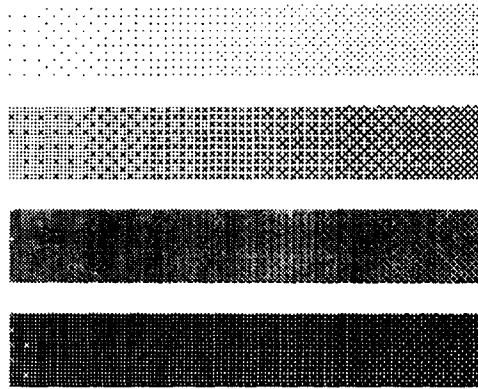
(a) Cluster method



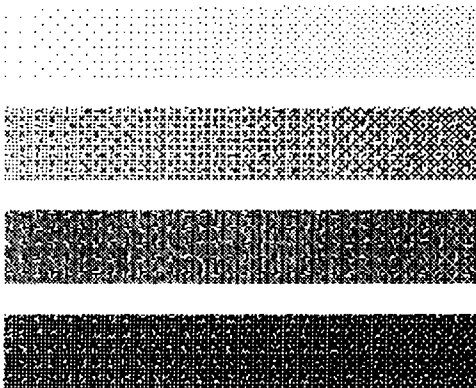
(b) Floyd-Steinberg method

Fig.7 Halftoned ramp patterns by convitional method.

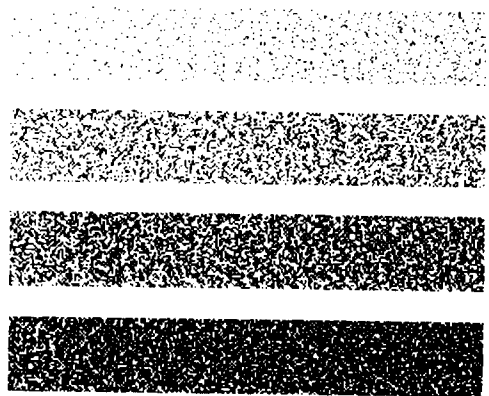




(a) Bayer method



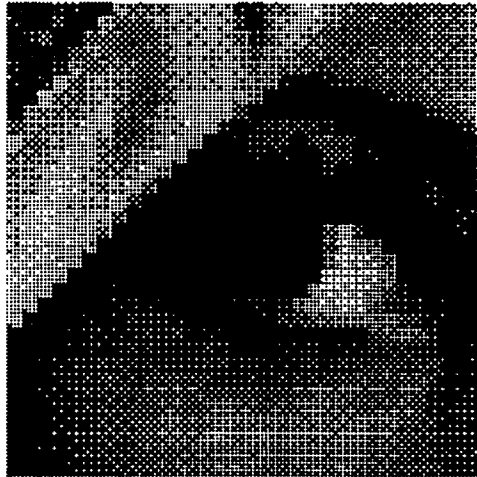
(b) Random method



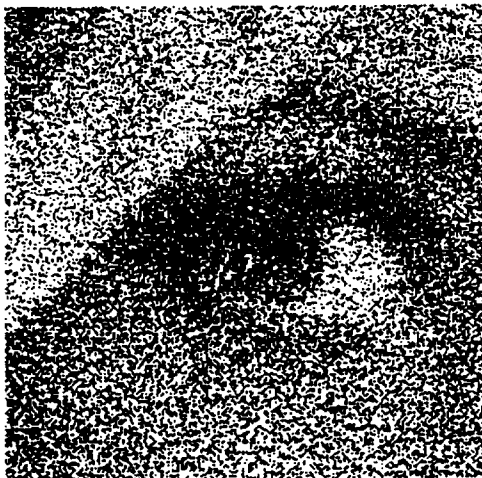
(c) Pseudo-random method

Fig.8 Halftoned ramp patterns by dispersed dot method.

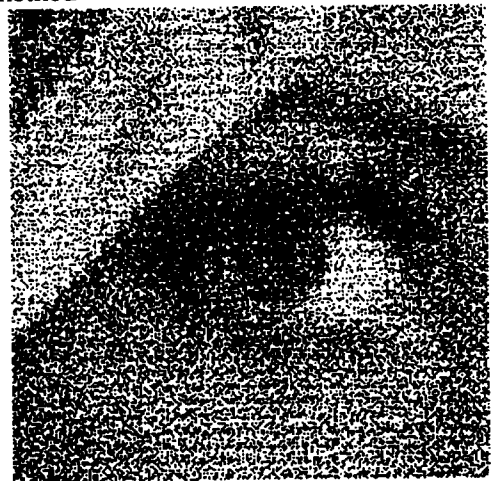
Fig.9은 72dpi로 입력된 원고를 8×8 마스크로 Bayer, 랜덤, 그리고 의사랜덤 방법으로 망점화하여 인쇄한 결과물을 보여주고 있다. 이 인쇄물을 표준광원  $D_{50}$ 에서 관측한 결과 Bayer - 의사랜덤 - 랜덤의 순으로 이미지가 부드럽게 보였다. 관측 거리가 약 3m 부터는 Bayer와 의사랜덤의 이미지는 거의 같게 지각되지만, 랜덤의 경우는 여전히 거칠게 지각되었다.



(a) Bayer method



(b) Random method



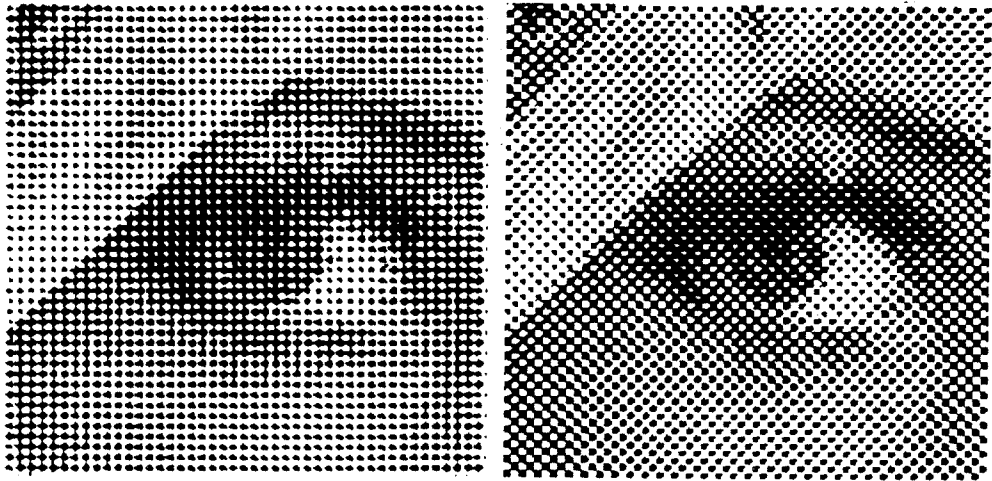
(c) Pseudo-random method

Fig.9 Halftoned images by dispersed dot method.

### 3.2.2 視覺의 空間 周波數 特性

눈의 감도는 Fig.4에서 보여준 바와 같이 패턴의 각도가  $45^\circ$  일 때 최소가 되며  $0^\circ$  인 경우에 최대가 되므로, 단색 인쇄의 경우는 스크린 각도를  $45^\circ$  로 하고 다색 인쇄의 경우

는 주된색의 스크린 각도를  $45^\circ$  로 하고 있다. Fig.10에서는 돗트 패턴을  $45^\circ$  인 경우와  $0^\circ$  인 경우의 망점화된 이미지를 보여주고 있으며, 이것은 72dpi로 입력된 원고를  $8 \times 8$  마스크로 망점화하여 인쇄한 결과이다. 이 인쇄물을 표준광원  $D_{50}$ 에서 관측한 결과  $45^\circ$  의 경우가  $0^\circ$  의 경우보다 좋게 나타났다. 그리고 관측거리가 약 3m 부터는 시각의 공간 주파수가 높아져  $45^\circ$  의 경우는 연속계조로 지각되었으나,  $0^\circ$  의 경우는 돗트 패턴으로 지각되었다. 그러나 관측거리가 약 4m인 지점부터는 시각의 공간 주파수가 높아져 모두 연속계조로 지각되었다.



(a) Halftoned image at  $0^\circ$  screen (b) Halftoned image at  $45^\circ$  screen

Fig.10 Halftoned image of clustered dot type for screen angle.

### 3.2.2 돗트 패턴의 空間 周波數 特性

그레이 레벨값이 224로 일정하고 크기가  $256 \times 256$  인 이미지를 원고로하여 망점화시킨 돗트 패턴의 공간 주파수 특성을 검토하였다. Fig.5의 중심에서 대각선 모서리까지 181등분하였기 때문에  $\Delta$ 는 약 0.0039가되고, 그레이 레벨값이 224이므로 기본 공간주파수( $f_g$ )는 약 90이 된다.

#### (1) 주기적 돗트 패턴의 주파수 특성

주기적 돗트 패턴을 식(13)에 의해 구한 평균 파워 스펙트럼의 결과를 Fig.11에 나타내고 있다. Fig.11 (a)는 돗트 집중형의 평균 파워 스펙트럼이고, (b)는 Bayer 방식의 평균 파워

스펙트럼이다. 일반적으로 공간주파수가  $f_g$ 보다 낮은 영역을 저주파 영역이라 하고,  $f_g$ 보다 높은 영역을 고주파 영역이라 한다. 돛트 집중형의 경우는 저주파 영역에 큰 평균 파워 스펙트럼이 나타나서 고주파 영역으로 갈수록 평균파워 스펙트럼이 낮아짐을 알 수 있다. 그러나 Bayer 방식의 경우는  $f_g$ 를 중심으로 낮은 평균 파워 스펙트럼이 분포되어 있으므로 시각의 공간주파수 특성에 의해서 돛트 패턴의 지각이 약함을 알 수 있다.

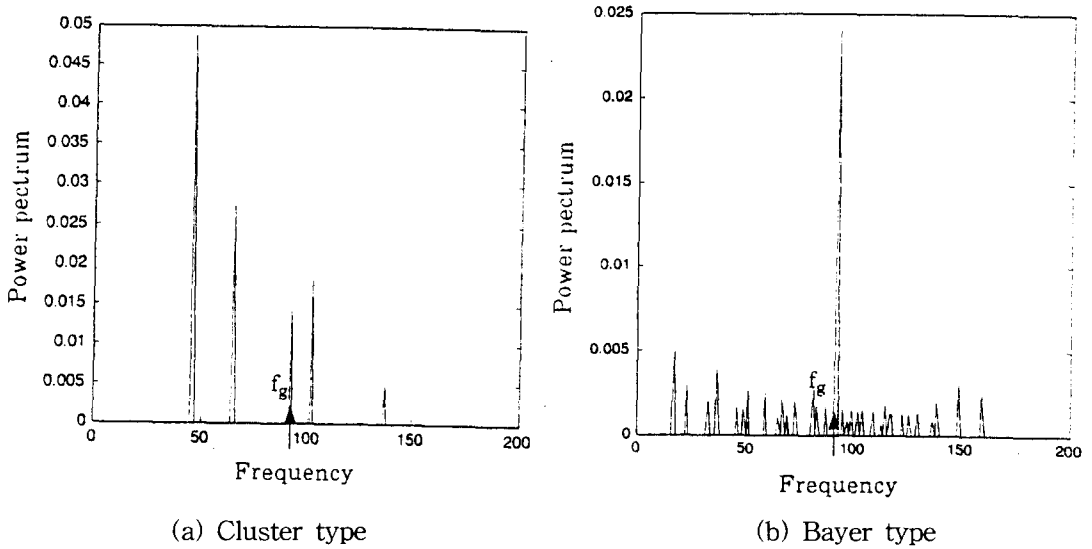
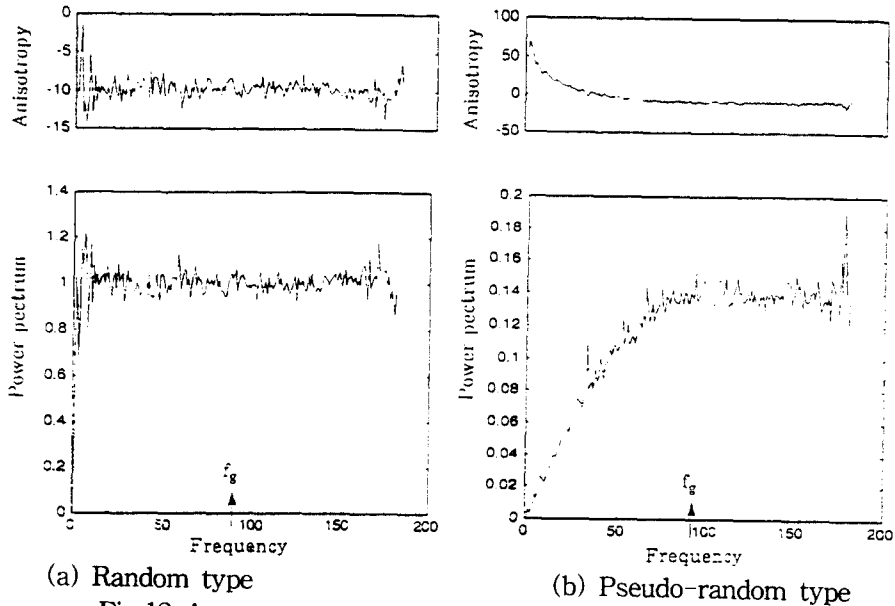


Fig.11 Average power spectra for periodic dot patterns.

(2) 랜덤과 의사 랜덤 패턴의 주파수 특성

랜덤과 의사 랜덤 패턴의 각각에 대해서 이방성과 평균 파워스펙트럼을 Fig.12 (a)와 (b)에 보여주고 있다. 랜덤 패턴의 경우에 있어서 이방성과 평균 파워 스펙트럼이 전체 주파수 영역에 걸쳐서 골고루 나타나고 있으며, 시각 감도가 높은 저주파 영역에도 높은 파워 스펙트럼이 나타나기 때문에 이미지가 거칠게 지각되므로 인쇄에서는 잘 이용되지 않는다. 그리고 의사 랜덤 패턴에 있어서 이방성은 저주파 영역에서 높으며, 파워 스펙트럼의 분포는 저주파 영역에서는 낮고 고주파 영역에서는 높은 파워 스펙트럼 분포를 나타내고 있다. 이방성의 특성으로 보아 거의 비주기성임을 알 수 있고 파워 스펙트럼의 분포는 거의 청색 잡음의 특성을 나타내고 있으므로 부드럽게 지각됨을 알 수 있다.



(a) Random type (b) Pseudo-random type  
 Fig.12 Average power spectra for aperiodic dot patterns.

(3) Floyd-Steinberg 패턴의 주파수 특성

잉크젯 프린터와 같은 저해상력 출력기에 많이 이용되고 있는 망점화 방법은 주로 오차 확산법이 이용되고 있다. 오차확산법중에서 대표적인 Floyd-Steinberg의 방법을 사용하여 2치화한 돋트 패턴에 대한 주파수 특성을 Fig.13에 보여 주고 있다. 저주파 영역의 이방성은 높은 값을 나타내며 고주파 영역의 이방성은 균일하게 분포되고 있다. 이방성이 높다는 것은 신호대 잡음비가 크다는 것을 의미하며, 주파수 스펙트럼은 대표적인 청색잡음의 특성을 나타내고 있다.

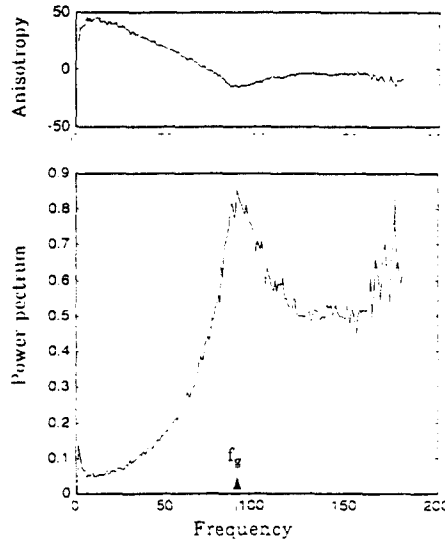
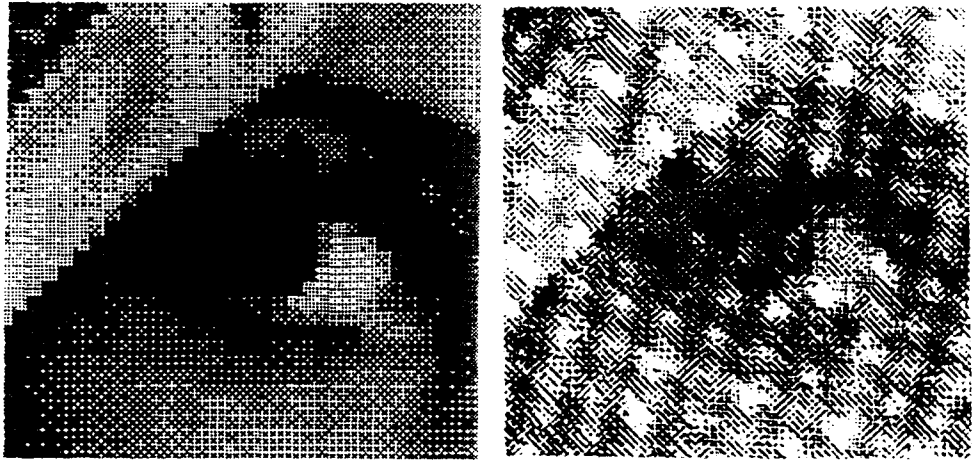


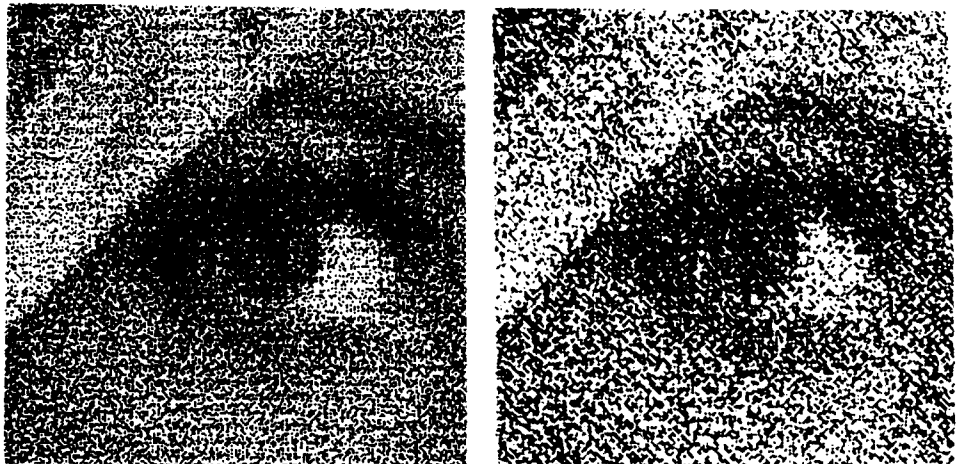
Fig.13 Average power spectra for Floyd-Steinberg dot patterns.

### 3.2.3 擬似랜덤 網点化의 무아레 效果

의사랜덤 방법으로 망점화된 도트 패턴들을 중첩시켰을 때 무아레 효과를 평가하기 위해서 Fig.6에서와 같이 평판형 스캐너로 입력하고, 약간의 처리를 거쳐 인쇄한 결과를 Fig.14에 나타내었다. Fig.14 (a)는 Bayer 방식으로 망점화한 이미지에 대한 무아레 효과이고, (b)는 의사랜덤 방식으로 망점화한 이미지의 무아레 효과를 나타낸 것이다. Bayer 방식의 이미지는 스캐너의 격자와 이미지의 주기적 격자에 의해 무아레가 심하게 발생 하지만, 의사랜덤 방식의 경우는 무아레가 거의 발생하지 않았다. 이것은 제시한 망점화 방법이 4색 이상의 인쇄에 이용가능함을 보여주고 있다.



(a) Original and Moire' fringe image for Bayer method



(b) Original and Moire' fringe image for Pseudo-random method  
Fig.14 Moire' effects generated between dot pattern and CCD sensor.

## 4. 結 論

인쇄품질의 고급화를 위한 고정세 인쇄나 4색 이상의 인쇄에 사용할 수 있는 무아레 억제용 의사 랜덤 망점화의 방법을 제시하고 망점화된 도트 패턴의 공간 주파수를 평가하여 다음과 같은 사실을 알았다.

- (1) 시각의 공간 주파수가 높아지면 Bayer 방법과 의사랜덤 방법의 이미지가 거의 비슷하게 지각되었다.
- (2) 45° 의 도트 패턴이 0° 의 도트 패턴보다 공간 주파수에 대한 눈의 감도가 낮게 나타났다.
- (3) 집중형 망점화 패턴은 저주파 영역에 높은 파워 스펙트럼이 분포되며, 고주파 영역으로 갈수록 낮은 파워 스펙트럼이 분포되었다. 그리고 Bayer 방식의 도트 패턴은 기본 주파수에 높은 파워 스펙트럼이 나타나고 저주파 영역과 고주파 영역에는 낮은 파워 스펙트럼이 분포되었다.
- (4) 무아레 억제용 의사랜덤 방식의 도트 패턴에 대한 파워 스펙트럼 분포는 청색잡음의 경우와 비슷한 특징이 나타났다. 그리고 이방성은 저주파 영역의 일부를 제외하고는 전체 주파수 영역에 걸쳐서 고르게 분포되었다.
- (5) 의사랜덤 방식의 망점화된 도트 패턴은 각도에 대한 무아레 영향이 거의 없었다.

이상의 결과로 본 논문에서 제시한 의사랜덤 망점화 방식은 각도에 대한 무아레의 영향이 거의 없고, 시각의 공간주파수 특성이 우수하므로 4색 이상의 인쇄나 고정세 인쇄용 망점화에 이용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

## 參 考 文 獻

- 1.R.Ulichney, "Recent Progress in Digital Halftoning", pp.38~41, IS&T Press,(1995).
- 2.Keith T.Knox, "Introduction to Digital Halftoning", The Proceeding of IS&T's 47th Annual conference, May 15, Rochester, pp.30~33, New York (1994).
- 3.Suk Chul Ahn,"A Concept of the Frequency Modulation Screening", The Korean Printing Society Conference, pp.1~4, (1994).
- 4.Mitsuo KAJI,"Stochastic Screening Techniques and their Surrounds", Bulletin of JSPST, Vol.32, No.1, pp.20~17,(1995).

- 5.R.Ulichney, "Digital Halftoning", pp.77~84, MIT Press, London (1993).
- 6.S.C.Ahn, D.Y. Kim, S.C.Kim, Y.Miyake,"A Study on the Moire' Free Halftone Screen for Ultra-Fine Offset Printing", The 5th Conference of The Korean Society for Imaging Science, pp.6~10, (1996).
- 7.H.Y.Park, Y.D.Moon, H.G.Ha, S.C.Ahn,"Analysis of the Halftone Filter Characteristics in the Frequency Domain", The Autumn Conference of The Korea Printing Society, pp.37~43, (1997).
- 8.Thrasylvoulos N.Pappas, "Digital Halftoning Techniques for Printing", IS&T's 47th Annual Conference/ ICPS, pp. 468~471, (1994).