

# 미로 생성 알고리즘을 이용한 디지털 하프토닝

## Digital Halftoning with Maze Generation Algorithm

조청운\*

Cheung-Woon Jho\*

### 요 약

하프토닝은 단색으로 다양한 계조의 색단계를 표현하는 방법으로 인쇄 매체와 같은 분야에서 제한된 색으로 다양한 톤을 표현할 수 있도록 해주는 매우 중요한 영상처리기법이다. 본 논문에서는 공간채움곡선(Space-Filling Curve)에 의한 하프토닝 방법의 대안으로 미로 생성 알고리즘에 기반한 새로운 하프토닝 방법을 제안한다. 기존의 공간채움곡선에 의한 오류 확산방법은 규칙적인 스캔 패턴으로 인해 하프토닝의 결과에도 규칙적인 패턴이 발생한다. 이러한 부분을 개선하기 위해 공간채움곡선 대신 미로의 경로를 사용함으로써 규칙적인 패턴을 제거하였다.

### Abstract

Halftoning is very important image processing techniques in the digital printing industry which is a process of converting a continuous-tone image to bi-level tone image. In this paper we introduce a new digital halftoning method based on maze generation algorithm as a replacement algorithm of halftoning with space-filling curve. Previous error-diffusion methods based on space-filling curve suffer from regular pattern artifacts from uniform scan pattern. We use maze generation algorithm to remove this undesirable pattern of space-filling curve method.

Key words : Halftoning, Dithering, Space-Filling Curve, Maze, Error-Diffusion

### I. 서 론

디지털 기술이 발전됨에 따라 매우 다양한 출력 장치가 개발되어왔다. 그러나 여전히 가장 많이 사용되는 출력장치는 잉크젯과 레이저 프린터 등이고 이러한 이진 표시 장치들에서 연속적인 톤의 이미지를 느낄 수 있도록 변환하는 방법이 디지털 하프토닝이다. 디지털 하프토닝은 영상처리와 컴퓨터 그래픽 분야에서 수많은 연구들이 이루어져 왔고[1] 거의 대부분

의 인쇄 장치에서 사용되고 있다. 오류확산 방법(error-diffusion method)은 영상을 정해진 순서대로 스캔하면서 픽셀의 밝기를 중간 밝기(0.5)와 비교한다. 비교 결과에 따라 0 또는 1을 이진 영상으로 출력하고 원래 영상과의 차이를 계산한다. 이 차이를 양자화 오류(quantization error)라고 하는데 이 값을 아직 처리하지 않은 주변 픽셀로 확산 시킴으로써 영상의 품질을 향상시킨다. 오류 확산 방법의 대표적인 알고리즘으로는 Floyd-Steinberg 알고리즘이 있다[2]

\* 동서대학교 디지털콘텐츠학부(Division of Digital Contents, Dong-sae University)

· 투고일자 : 2009년 11월 14일

· 심사(수정)일자 : 2009년 11월 30일 (수정일자 : 2009년 12월 11일)

· 게재일자 : 2009년 12월 30일

## II. 연구 배경

공간채움곡선(Space Filling Curves, 줄여서 SFC)은 1890년 이탈리아 수학자인 주세페 페아노(Giuseppe Peano)에 의해 처음 발견되었으며 공간에 모든 점을 중복 없이 모두 지날 수 있다는 특성을 갖는다. 이후 페아노(Peano) 곡선, 힐버트(Hilbert) 곡선, 세르핀스키(Sierpinski) 곡선 등 다양한 SFC가 발견되었으며 이들 곡선은 수학적 정의에 의해서는 극한(limit)을 취해 얻어지나 실용적인 이용에는 재귀적인 방법에 의해 유한한 크기로 근사해서 사용한다. 이렇게 유한한 크기로 근사해서 만들어진 곡선도 동일하게 공간을 차례로 채워나가는 특성을 유지한다. 이를 디지털 영상의 화소를 순서대로 스캔하는 방법에 이용할 수 있으며 [3]과 [4] 등에 의해 디지털영상처리 분야에 활용되었다.

SFC를 하프토닝에 처음 이용한 것은 1982년 페아노(Peano) SFC를 스캔 경로로 사용하여 오류확산 방법으로 하프토닝하였다[5]. 이러한 오류확산 방법은 잉크젯 프린터와 같은 장치에 잘 맞으며 각각의 점들이 잘 표현된다. 그러나 같은 방법이 레이저 프린터나 옙셋 프린터에서는 잘 작동하지 않는다. 추가적으로 이러한 장치의 비선형적인 특성 때문에 레이저 프린터에서 오류확산 방법의 노이즈가 더 증폭되어 나타난다[6]. 레이저 프린터에서는 군집된 점 디더링(clustered-dot dithering)이 안정적이고 시각적으로 훌륭한 결과를 나타낸다. 이러한 점을 SFC를 이용한 하프토닝에 도입하여 다양한 크기의 클러스터를 이용하여 레이저 프린터에 맞는 알고리즘을 개발하였다[7]. 이는 [5]의 방법을 일반화하여 처리하는 픽셀의 단위를 하나 이상으로 하는 클러스터 개념을 사용한 것이다. 이후 고정적인 클러스터가 세부묘사가 필요한 부분에서 잘 작동하지 못하는 점을 개선하여 가변적인 크기의 클러스터를 적용하는 하프토닝의 방법도 개발되었다[8,9]. 이렇게 SFC를 스캔하는 경로로 사용하는 방법 이외에 확률적으로 군집된-점(clustered-dot) 스크린을 구성하는데 힐버트(Hilbert) SFC를 사용하였다[10].

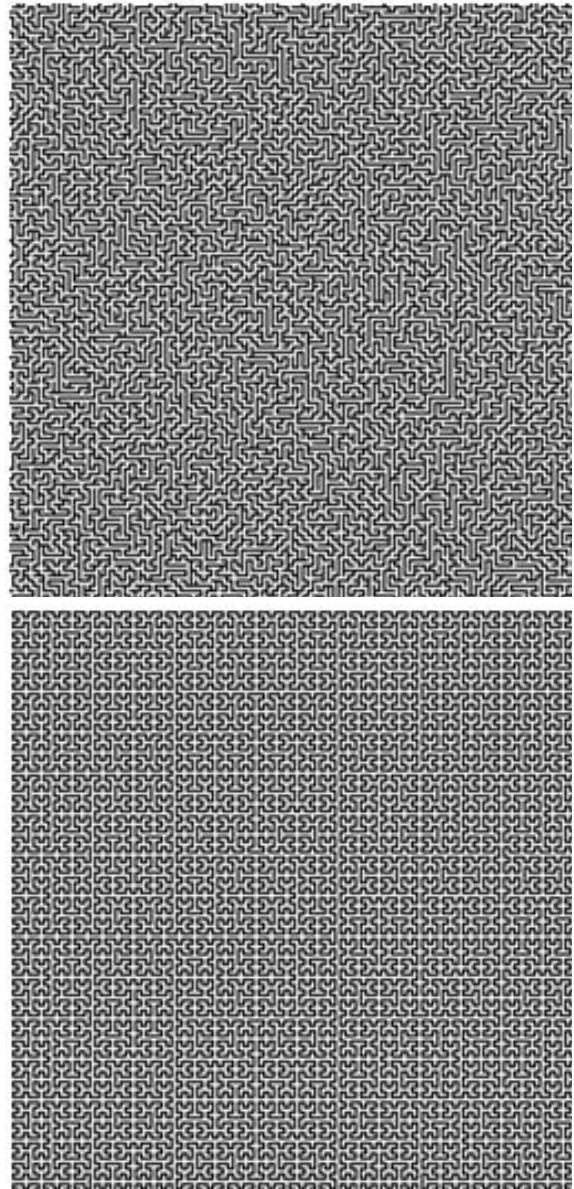


그림 1. 랜덤하게 생성된 미로의 경로와 SFC의 경로 비교  
Fig. 1. Comparison randomly generated maze path with SFC path

그러나 SFC를 사용하는 하프토닝은 몇 가지 문제점을 갖는다. 첫 번째 SFC를 생성하기 위해서는 Hilbert 커브와 같은 경우 2의 지수승으로 크기가 제한된다. 두 번째는 곡선의 형태가 전체적으로는 반복되지 않는 형태이지만 부분적으로 보면 유사한 패턴의 반복이 매우 많이 발생한다. 이는 FFT변환을 통해서도 발견되며 중요한 문제점(artifact)이 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위한 방법으로 신장 트리(Spanning Tree)를 구성하고 생성된 트리를 감싸는 형태의 경로를 SFC 대신 사용하는 방법이 개발되었다

[11]. SFC의 단점인 경로의 규칙적인 부분을 개선하기 위해 랜덤한 경로 패턴을 생성할 수 있는 방법을 사용하였다. 이 방법은 신장트리를 중심으로 두 번 왕복하는 형태의 경로가 생성되기 때문에 영상의 크기가 가로 세로 모두 2의 배수로 된 형태가 된다. 전체 영상을 하나의 신장트리에 의해 경로를 생성하지 않는 경우에는 이러한 2의 배수에 해당하는 크기로 분할하여 적용해야 한다는 단점이 있고 영상에 분할을 적용할 경우에는 시작점과 끝점이 항상 같아지기 때문에 분할된 영역끼리 경로를 연속적으로 연결되게 만들 수 없어 분할된 영역 간에 경로가 끊기게 된다는 문제점이 있다.

### III. 기존 알고리즘의 문제점

가장 대표적인 오류 확산법인 Floyd-Steinberg 방법은 이미지를 스캔하는 방향 때문에 일정한 패턴이 나타나는 문제점을 갖는다. SFC를 이용한 오류 확산 방법은 이러한 스캔 방법을 개선함으로써 해서 기존의 벌레(worm)와 같은 패턴이 나타나는 것은 해결할 수 있게 되었다. 그러나 SFC 자체가 재귀적인 정의방법으로 생성하기 때문에 내부적인 구조에서 반복적인 패턴이 발생한다. 이러한 경로 모양 자체의 반복적인 규칙성 때문에 해프토닝의 결과 영상에도 또 다른 패턴을 발생시킨다. 이러한 패턴은 주로 넓은 영역에 걸쳐 동일한 밝기를 갖는 부분에서 두드러지는데 이러한 예가 그림 4에 잘 나타나 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 SFC 대신 미로(maze) 경로를 생성 방법을 사용한다. 미로를 생성하는 알고리즘에 따라 스캔에 사용할 경로를 만들고 이를 이용해서 하프토닝을 하는 방법을 제시한다.

### IV. 제안하는 알고리즘

미로의 형태는 일반적으로 사각형 격자형태를 기반으로 한 것을 가정한다. 최근에는 일반적인 형태에 대해 미로를 생성하는 방법이 개발되어 비사실적 렌

더링 분야에 활용되고 있다. 사각형을 벗어난 형태로는 소용돌이 형태에 대해서 생성하는 방법[12]과 자유로운 외형의 일반적인 형태에 맞게 생성하는 알고리즘을 제안하였다[13,14]. 또한 이와 유사한 방법을 비사실적 렌더링 기법으로 표현한 경우도 일반적인 미로 형태를 사용한 방법이다[15,16]. 그러나 본 논문에서 사용하는 알고리즘은 2D 이미지의 형태와 같은 사각 격자 형태에 대한 알고리즘을 사용하고 이후 미로는 이러한 사각형의 격자형태를 지칭하는 용어로 사용한다.

일반적으로 미로를 생성하는 알고리즘은 다양한 방법이 개발되어 있다. 본 논문에서는 ‘깊이 우선 검색(depth-first search)’ 방법을 기반으로 한 미로 생성 알고리즘을 사용하였다.

본 논문에서 제안하는 방법은 미로의 경로를 만들어 가며 오류 확산 방법으로 디더링(dithering)한다. 영상의 각각의 화소는 미로의 셀에 해당하며 본 논문에서 사용하는 미로 생성 알고리즘은 ‘깊이 우선 검색’을 사용한다. 이웃하는 셀을 랜덤하게 선택하며 주로 스택을 이용하여 구현하게 된다. 깊이 우선 검색으로 생성된 미로는 분기하는 경우가 적으며 긴 통로를 많이 갖는다는 특징이 있다.

### V. 실험 결과

실험에는 256x256 크기의 256밝기 단계를 갖는 영상을 사용하였으며, 일반적인 이미지인 Lena, 왼쪽이 검은색에서 오른쪽 흰색으로 연속적으로 변하는 Ramp 영상, 전체이미지가 한가지 밝기로 되어있는 20% 그레이 영상 등 세 가지를 사용하여 실험하였다. 결과에서 볼 수 있는 것처럼 SFC를 사용한 경우는 갖은 밝기를 갖는 영역에 일정한 패턴이 나타나는 것을 볼 수 있다. Lena의 경우 불이나 거울안쪽에 나타나는 패턴을 볼 수 있으며, Ramp 영상에서는 중간 중간에 세로로 된 띠처럼 패턴이 드러남을 볼 수 있다. 20% 그레이 영상에서는 이러한 패턴이 가장 잘 드러난다. FFT를 통해 분석한 결과에도 이러한 점을 확인할 수 있으며 영상의 품질에 많은 영향을 줄 수 있다. 제안된 알고리즘을 사용한 결과 이미지에서는 이러한 패턴에 의한 품질 저하가 나타나지 않음을 볼 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 미로 생성 방법을 이용한 오류 확산 방법의 하프토닝 방법을 제안하였다. 랜덤하게 생성되는 미로의 경로를 따라 연속적인 톤의 영상을 스캔하며 이진영상으로 변환한다. 제안된 방법을 SFC에 따라 오류를 확산하는 방법과 비교하였으며 SFC에 의한 오류 확산에서 발생하는 문제점을 해결하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] D. Lau and G. Arce, *Modern Digital Halftoning*, Marcel Dekker, New York NY, USA 2001.
- [2] R. Floyd and L. Steinberg, "An Adaptive Algorithm for Spatial Gray Scale," *SID Symposium*, pp. 36-37, 1975.
- [3] R.J. Steven, F.A. Lehar and F.H. Perston, "Manipulation and Preservation of Multidimensional Image Data using the Peano Scan," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 5, pp.520-526, 1983.
- [4] H.C. Koo-Yan-Too, A Peano Scan Approach to Multivariate Data Clustering, with an Application, Master Thesis, Dept. C.S., Univ. of Regina, 1988.
- [5] I.H. Witten and M. Neal, "Using Peano Curves for Bilevel Display of Continuous Tone Images," *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 47-52, May 1982.
- [6] D. Vanderhaeghe and V. Ostromoukhov, "Polyomino-Based Digital Halftoning," *Proceedings of IADIS International Conference on Computer Graphics and Visualization*, pp.57-64, 2008.
- [7] L. Velho and J. Gomes, "Digital Halftoning with Space Filling Curves," *Proceedings of the 18th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, p.81-90, July 1991.
- [8] L. Velho and J. Gomes, "Space Filling Curve Dither with Adaptive Clustering," In: *V SIBGRAPI, 1992, Aguas de Lindoia. Anais do V SIBGRAPI*, pp. 81-87, 1992.
- [9] L. Velho and J. Gomes, "Stochastic Screening Dithering with Adaptive Clustering," *Proceedings of the 22th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, p.273-276, July 1995.
- [10] V. Ostromoukhov and R. D. Hersch, "Stochastic Clustered-Dot Dithering," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 8, No. 4, pp. 439-445, 1999.
- [11] T. Asano, "Digital Halftoning Algorithm based on Random Space-Filling Curve," *Proceedings., International Conference on Image Processing*, Vol. 1, pp. 545-548, 1996.
- [12] J. Xu and C.S. Kaplan, "Vortex Maze Construction," In *Bridges 2006: Mathematical Connections in Art, Music and Science*, 2006.
- [13] H. Pedersen and K. Singh, "Organic Labyrinths and Mazes," pp. 79-86, *Proceedings of the 4th International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering 2006, Annecy, France, June 5-7, 2006*.
- [14] J. Xu and C.S. Kaplan, "Image-Guided Maze Construction," *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, v.26 n.3, July 2007
- [15] C.S. Kaplan and R. Bosch. "TSP Art," In *Renaissance Banff: Bridges 2005: Mathematical Connections in Art, Music and Science*, pages 301-308, 2005.
- [16] K. Inoue, K. Urahama, "Halftoning with Minimum Spanning Trees and its Application to Maze-like Images," *Computers & Graphics* 33, pp.638-647, 2009.

## 조 청 운 (趙靑雲)



1992년 2월 : 중앙대학교 전자계산학과(공학사)

1994년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)

2000년 1월~2003년 12월 : 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 연구교수

2004년 3월~현재 : 동서대학교 디지털콘텐츠학부 디지털영상제작전공 조교수

관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 영상처리



그림 2. Lena 영상에 대한 실험 결과 비교 (a)(c)(e)제안한 방법의 결과 (b)(d)(f) SFC 알고리즘의 결과 (c)(d) 영상의 FFT 변환

Fig. 2 Comparison of result images (Lena image). (a)(c)(e) results of proposed method (b)(d)(f) results of SFC algorithm (c)(d) FFT Transform of images

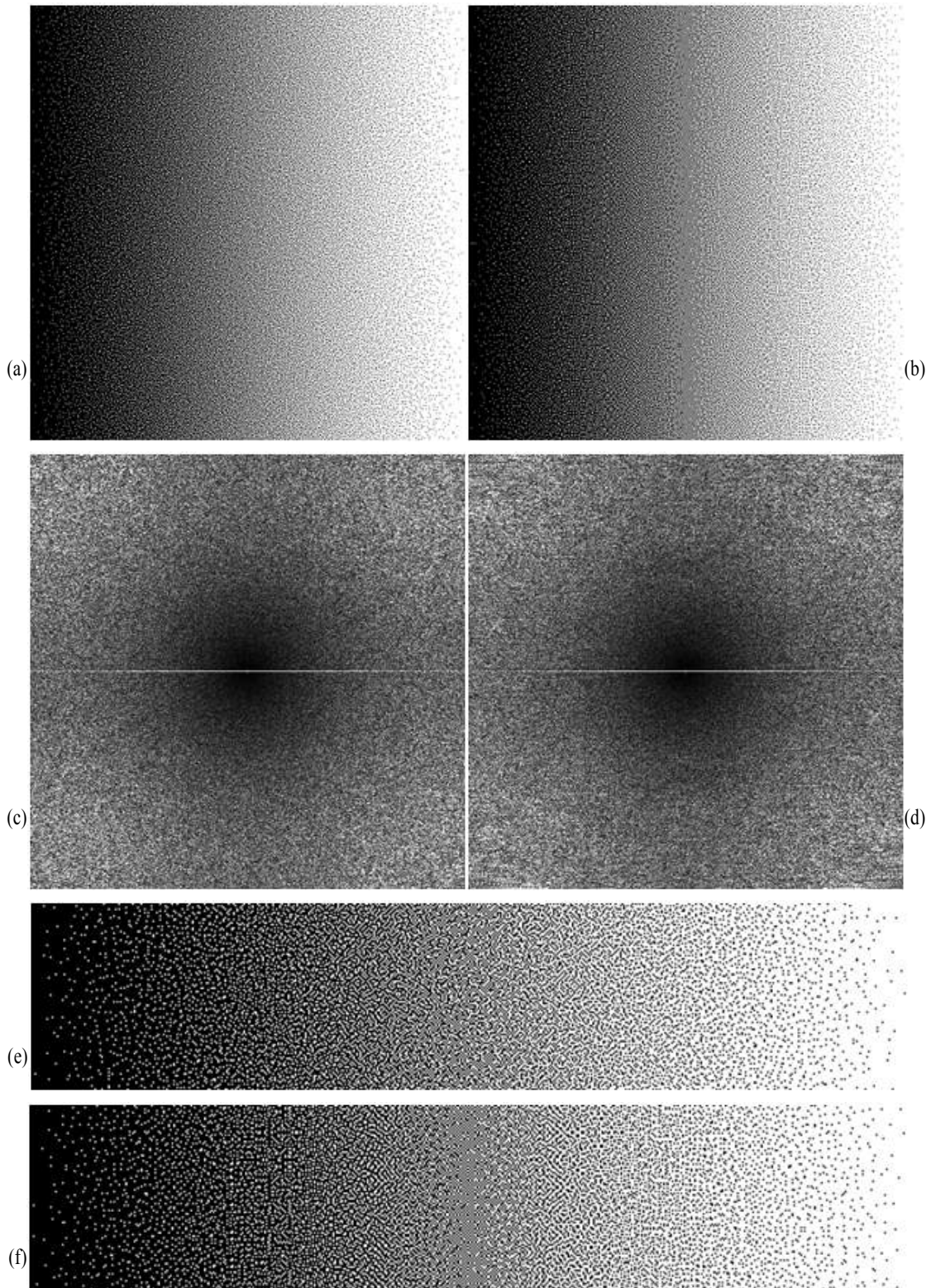


그림 3. 그라데이션 영상에 대한 실험 결과 비교. (a)(c)(e) 제안한 방법의 결과 (b)(d)(f) SFC 알고리즘의 결과 (c)(d) 영상의 FFT 변환

Fig. 3 Comparison of result images (ramp image). (a)(c)(e) results of proposed method (b)(d)(f) results of SFC algorithm (c)(d) FFT Transform of images

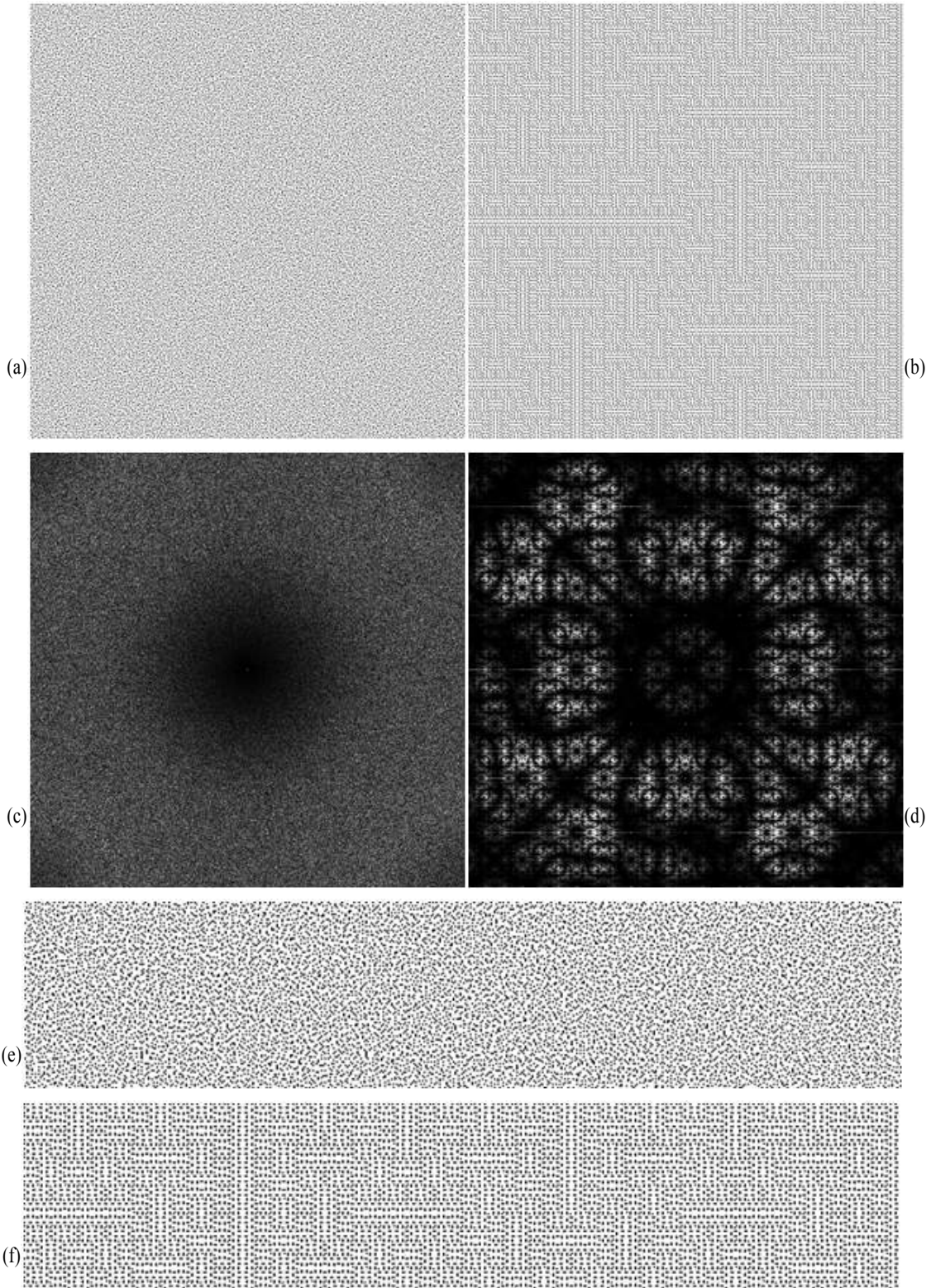


그림 4. 20% 그레이 영상에 대한 실험 결과 비교. (a)(c)(e)제안한 방법의 결과 (b)(d)(f) SFC 알고리즘의 결과 (c)(d) 영상의 FFT 변환

Fig. 4 Comparison of result images (20% gray image). (a)(c)(e) results of proposed method (b)(d)(f) results of SFC algorithm (c)(d) FFT Transform of images