

HOG 기반의 적응적 평활화를 이용한 스캔된 하프톤 영상의 잡음 제거

허규성 백열민 김희율

한양대학교 전자컴퓨터통신공학부

kskur@vision.hanyang.ac.kr

Noise Removal in Scanned Halftone Images using HOG-based Adaptive Smoothing

Hur, Kyu-Sung Baek, Yeul-Min Kim, Whoi-Yul

Department of Electronics and Computer Engineering
Hanyang University

요약

본 논문에서는 적응적 평활화 필터를 이용한 스캔된 하프톤 문서의 하프톤 잡음 제거 방법을 제안한다. 하프톤 잡음은 잡음의 편차가 커서 에지 영역과 유사한 특성을 나타내므로 일반적인 에지 보존 평활화 필터를 적용할 경우에는 잡음 제거 효과가 떨어진다. 또한 인쇄물에 주로 사용되는 집중형 도트 방식의 하프톤은 컬러 영상에서 채널간의 간섭 현상으로 인해 모아레 패턴을 생성한다. 따라서 본 논문에서는 스캔된 하프톤 문서의 하프톤 잡음과 모아레 패턴을 효과적으로 제거하기 위해 하프톤 잡음의 방향성에 기반한 적응적 평활화 필터 방법을 제안한다. 하프톤 잡음의 경우 영상의 에지와 달리 등방성을 가지므로 영상을 블록 단위로 나누어 지배적인 에지의 크기와 방향성을 살피으로써 적응적 평활화 필터를 구성할 수 있다. 실험 결과, 제안하는 방법은 다양한 인쇄 매체를 통해 생성된 하프톤 문서에 대하여 효과적으로 하프톤 잡음을 제거하면서도 영상의 에지를 보존하는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서론

잡지나 신문과 같은 인쇄물은 흑백 또는 CMYK와 같은 제한된 잉크의 색상으로 모니터 상에서의 연속계조를 표현하기 위해 하프톤 패턴을 사용한다. 인쇄물에 주로 사용되는 하프톤 방식은 집중형 도트(clustered-dot) 방식으로 연속계조에서의 픽셀의 밝기에 따라 하프톤 점의 크기를 변화시켜 연속계조를 표현한다. 하프톤 잡음이란 이 과정에서 발생하는 연속 계조 영상과 하프톤 영상과의 차이를 의미한다. 사람의 눈은 저주파 통과 필터적인 특성을 가지므로 일정 거리에서 일련의 하프톤 점들을 관측할 경우, 이를 하나의 연속계조로 인식하게 되어 하프톤 잡음을 비교적 인지하지 못 한다. 컬러 영상의 경우에는 연속계조의 색상 정보가 CMYK로 변환되어 각각의 채널별로 하프톤 도트를 생성하게 되는데, 이때 채널 간의 간섭으로 인하여 모아레(Moire) 패턴이 발생할 수 있다[1]. 모아레 현상은 서로 다른 주파수의 간섭으로 인하여 영상에 나타나는 물결 무늬의 왜곡을 의미한다.

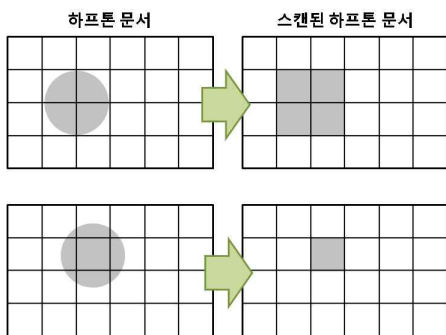


그림 1. 스캔된 하프톤 영상

그림 1은 하프톤 영상을 스캔한 결과를 나타내고 있다. 하프

톤 영상을 연속계조로 인식하는 사람과 달리 스캐너의 경우는 스캐너의 어퍼처(aperture)에 놓이는 하프톤의 위치에 따라 하프톤 영상의 형태가 달라 질 수 있다. 이와 같이 하프톤 주파수와 스캐너 주파수의 간섭에 의해 문서를 스캔하는 과정에서 모아레 현상이 발생할 수 있다. 스캔된 하프톤 영상에 발생한 모아레 패턴은 스캐너의 기계적인 구조상 피할 수 없다. 이밖에도 스캐닝은 원본 하프톤 영상에 일종의 저주파 통과 필터를 적용한 효과를 주므로 원래의 연속계조 영상을 유추하는 것은 더욱 어렵게 된다[2]. 따라서 스캔된 영상의 저하된 화질을 개선하기 위해서는 스캔된 하프톤 잡음과 모아레 패턴을 지우는 과정이 필요하다.

하프톤 영상을 원래의 연속계조 영상으로 복원하는 과정을 역 하프톤(inverse halftoning)이라고 한다. 역 하프톤 과정은 집중형 도트 하프톤 방식과 같이 하프톤의 주파수가 일정한 경우에는 노치 필터(notch filter)를 생성하여 제거하는 방법이 사용되며, 분산형 도트(dispersed-dot) 하프톤 방식의 경우에는 하프톤 생성에 사용된 확산 필터의 형태에 의존하여 제거하는 방식이 사용 된다. 대부분의 역 하프톤 방법은 하프톤이 생성된 방식을 미리 알고 있음을 가정하며, 따라서 특정 하프톤 방식에 대해 특화되어 있는 경우가 많다. 그러나 스캔된 하프톤 영상의 경우에는 원본 하프톤 문서가 어떠한 방식으로 생성되었는지 미리 알기 어려우며, 또한 스캐닝 과정에서 발생하는 왜곡으로 인하여 역 하프톤 변환을 수행하기 어렵다. 따라서 스캔된 하프톤 영상의 잡음을 제거하기 위해서는 특정 하프톤 방식과 스캐너의 종류에 상관없이 포괄적으로 사용될 수 있는 방법이 수행되어야 한다. 이처럼 스캔된 영상에 대한 하프톤 잡음과 모아레를 제거하는 과정은 descreen이라고 한다.

Descreen 방법으로는 주파수 영역에서의 고주파 성분을 제거하는 방법[3][4]과 공간 영역에서 평활화 필터를 이용하여 잡음을 제거하는 방법[5][6]이 있다. 하프톤 잡음과 모아레 패턴은 그 주기성으로 인하여 다른 영상 신호에 비해 비교적 고주파 영역에서 나타나게 되므로 [3]과 [4]에서는 영상을 주파수 영역으로 변환하여 고주파 성분을 제거하는 과정을 수행한다. 이때 영상의 에지 영역과 같은 디테일이 함께 제거되는 것을 막기 위해 하프톤 주파

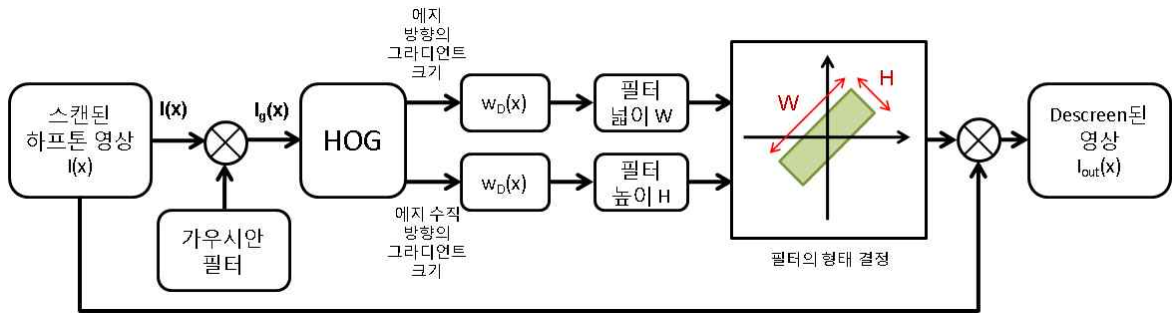


그림 2. 제안하는 방법의 흐름도

수를 예측하여 제거하는 과정을 수행한다. 공간 영역에서의 descree 방식은 영상의 에지의 방향과 평행한 필터를 구성하여 평활화(smoothing)하는 방법을 취한다. 그러나 하프톤 잡음의 경우, 잡음의 편차가 커서 영상의 에지로 오검출 될 수 있다. [5]에서는 하프톤이 포함된 에지 형태에 따른 필터의 형태를 혼련하여 적응적 평활화를 수행하며, [6]에서는 하프톤 잡음의 주파수 특성을 이용한 비등방성 확산 방식을 사용한다. 그러나 대부분의 주파수 영역에서의 필터링 과정은 컬러 하프톤의 채널 간의 간섭을 배제하기 위해 흑백 영상을 대상으로 하며 에지의 형태를 미리 혼련하여 사용하는 방식은 모든 에지의 형태에 대한 혼련 정보를 갖고 있어야 하므로 메모리가 많이 사용된다는 단점이 있다.

본 논문에서는 빠르면서도 효과적으로 descree를 수행하기 위한 방법을 제안한다. 제안하는 방법의 흐름도는 그림 2와 같다. 제안하는 방법에서는 하프톤 잡음과 실제 에지의 차이를 구분하기 위하여 하프톤 잡음과 실제 에지의 방향성의 차이를 이용하며, 이로부터 구해진 영상의 블록 내의 에지 방향에 따라 필터의 형태가 적응적으로 변화하면서 가우시안 평활화가 수행된다. 실험 결과, 제안하는 방법은 효과적으로 다양한 하프톤 잡음과 모아레 패턴을 제거하는 것을 확인할 수 있었다.

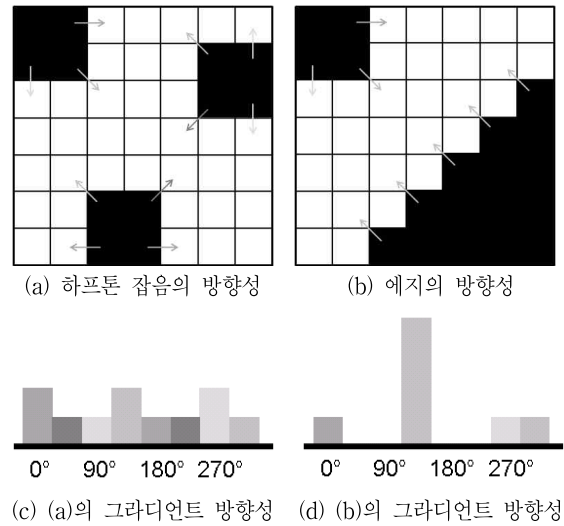


그림 3. 스캔된 하프톤 영상에 따른 필터의 형태 변화

2. 제안하는 방법

영상의 잡음을 제거하는 기본적인 방법인 평활화 필터링은 각 픽셀의 밝기 값을 정의된 이웃 픽셀들의 평균으로 대체함으로써 잡음을 제거한다. 정의된 이웃의 범위가 좁은 경우에는 잡음 제거 효과가 떨어지는 반면, 광범위한 영역에 걸친 평활화는 디테일을 손실시켜 영상이 흐려진다. 따라서 영상의 디테일은 보존하면서도 잡음을 효과적으로 제거하기 위해서는 에지를 제외한 영역에 대한 평활화가 수행되어야 한다. 그러나 이러한 적응적 평활화 필터는 영상의 잡음의 편차가 신호 자체의 편차보다 작다는 전제 하에 영상의 에지를 구별하기 때문에 하프톤 잡음과 같이 잡음의 편차가 심한 경우에는 영상의 에지와 잡음을 구별하는 것이 쉽지 않다.

제안하는 방법은 하프톤 잡음과 영상의 실제 에지를 구별하기 위하여 하프톤 잡음과 실제 에지 사이의 그라디언트(gradient) 방향성의 차이를 이용한다. 그림 3의 (a)는 하프톤 잡음의 그라디언트 방향성을 나타내며, (b)는 실제 에지의 그라디언트를 나타낸다. 하프톤 잡음의 경우, 상대적으로 큰 잡음의 편차로 인하여 각각의 픽셀 위치에서 에지와 같은 그라디언트가 나타난다. 그러나 (c)와 같이 블록 전체 영역에서의 하프톤 잡음의 그라디언트는 각각의 방향에서의 빈(bin)의 크기가 고루 나타나는 등방성을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 이와 달리, (b)의 에지 영역에서의 블록 전체의 방향성은 (d)와 같이 한 방향(135°)이 두드러지게 나타나게 된다.

따라서 제안하는 방법은 스캔된 하프톤 영상의 잡음과 에지를 구별하기 위하여 HOG(Histogram of Gradient)를 이용하며, 이에 따라 검출된 에지의 방향과 크기에 따라 필터의 형태가 적응적으로 변화하는 가우시안 평활화 필터를 사용한다. 영상의 지역적 에지를 구별하기 위한 그라디언트의 방향은 0°, 45°, 90°, 135°의 4-방향과 이에 대칭되는 성분으로 표현한다.

그림 3의 영상에 대한 제안하는 방법의 HOG는 그림 4의 (a)와 (b)와 같다. 4-방향으로의 HOG에서 최대의 히스토그램의 빈을 갖는 방향(135°)에 수직이 되는 방향(45°)을 지배적인 에지의 방향(dominant edge direction)으로 간주한다. 에지를 보존하기 위하여 제안하는 필터는 지배적인 에지의 방향과 평행이 되도록 HOG로부터 구해진 지배적인 에지의 방향으로 필터를 회전시킨다.

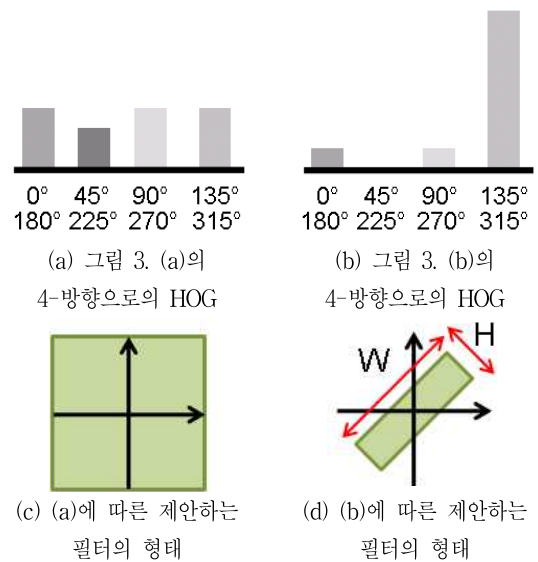


그림 4. 그림 3. (a)와 (b)의 영상에 따른 제안하는 필터의 형태

제안하는 필터의 높이 H 는 HOG로부터 구한 지배적인 에지의 방향에 수직인 방향과 평행한 필터의 변으로 정의하며, 필터의 넓이 W 는 지배적인 에지의 방향과 평행한 필터의 변으로 정의한다. 에지 인접 영역에서 과도한 평탄화가 수행되는 것을 막기 위해서는 에지의 크기에 따라 필터의 크기가 변해야 하므로, 제안하는 필터의 높이 H 와 넓이 W 는 각각 지배적인 에지의 방향에 수직인 방향($j = 0$)에서와 지배적인 에지 방향($j = 1$)에서의 HOG의 빈의 크기 g_i 에 따라 식 (3)과 (4)와 같이 변화 한다.

$$H(x) = w_{D0}(x)H_{\text{default}} \quad (3)$$

$$W(x) = w_{D1}(x)W_{\text{default}} \quad (4)$$

$$w_{Di}(x) = a [\exp(-b[w_I(x)]^2 g_i) + c] \quad i = 0, 1 \quad (5)$$

$$w_I(x) = \exp(-d(I_g(x) - 128)^2) \quad (6)$$

여기서, x 는 중심 픽셀의 위치를, H_{default} 와 W_{default} 는 기본 필터 크기를 의미한다. 기본 필터의 크기에 적용되는 가중치 $w_D(x)$ 는 필터의 방향 j 에 따른 HOG의 빈의 크기 g_i 에 대한 가중치로 그림 5과 같이 빈의 크기가 클수록 작아진다. 가중치 $w_I(x)$ 는 중간 밝기의 영역에서의 잡음이 아주 어둡거나 아주 밝은 영역에서의 잡음에 비해 좀 더 두드러지는 경향이 나타나는 것을 반영하기 위한 함수로 중심 픽셀의 밝기값에 대해 그림 6과 같은 형태를 갖는다. 중심 픽셀의 밝기값은 하프톤 잡음에 의해 잘 못 유추될 수 있으므로 좀 더 안정적인 밝기값을 얻기 위해 기본 필터 크기의 가우시안 평탄화 필터를 적용했을 때의 밝기값 $I_g(x)$ 에 대한 함수로 나타낸다. 상수 a , b , c 와 d 는 실험적으로 구하였으며 각각 0.857, 0.005, 0.143과 0.00006을 사용하였다.

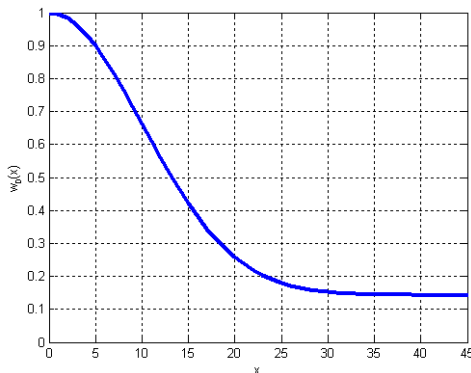


그림 5. 빈의 크기에 따른 확산 가중치 함수

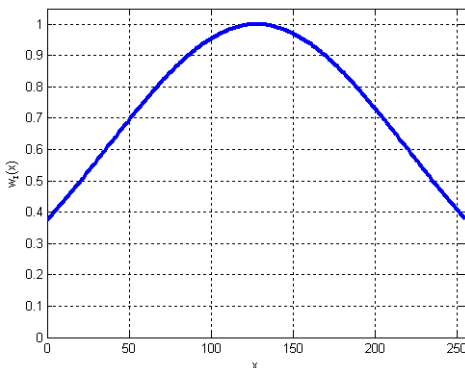


그림 6. 중심 픽셀의 밝기에 따른 가중치 함수

HOG를 사용하여 지배적인 에지를 구함으로써 하프톤 잡음과 영상의 실제 에지를 구분할 수는 있으나 필터가 하프톤에 놓이는

위치에 따라서 하프톤 잡음이 약한 영상의 에지로 오인되어 하프톤이 부각될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 영상의 그라디언트를 구하기 앞서 하프톤 잡음에 가우시안 평탄화를 적용하여 사람이 하프톤 영상을 연속계조로 인식하였을 때 느끼는 에지 성분을 중심으로 에지 검출이 이뤄지도록 한다. 지배적인 에지의 크기와 방향에 따라 최종적으로 결정된 평활화 필터는 스캐너로부터 입력된 본래의 하프톤 영상에 적용된다.

3. 실험 및 결과

제안하는 방법을 평가하기 위하여 잡지 등의 인쇄물과 연속계조 영상을 레이저 복합기 및 프린터로 출력한 하프톤 영상을 사용하였다. 하프톤을 생성하는 방식은 인쇄 매체에 따라 달라지므로 스캐너를 통해 들어오는 문서의 하프톤 방식을 예측하기 어렵다. 따라서 다양한 하프톤에 대한 성능을 비교하기 위하여 가능한 여러 종류의 프린터를 이용하였다. 실험에 사용된 프린터는 Fuji Xerox DocuPrint™ C1190FS, HP™ CP1215, HP™ CP3525, HP™ CM1017, Lexmark™ C544, Samsung™ CLP-670, Brother™ MFC-9450, Konica Minolta™ 5440 등이며, 하프톤 영상을 스캔하기 위해서는 Samsung™ SCX-6555를 사용하였다. 제안하는 방법의 성능 비교를 위하여 가우시안 평활화 필터와 HFD[6]를 비교하였으며 HFD에서 사용한 것과 같이 기본 필터의 크기는 7×7을 사용하였다.

실험한 결과는 그림 7과 같다. 결과 영상의 위의 세 줄은 300 dpi로, 아래의 세 줄은 600 dpi로 스캔한 영상에 descreeen을 수행한 결과이다. 그림 7(a)는 하프톤 영상을 스캔한 원본 영상으로 영상에 하프톤 잡음과 스캔 과정에서 발생한 모아레 패턴을 관찰할 수 있다. 기본적인 가우시안 평활화를 수행한 (b)에서는 영상의 잡음과 함께 에지 부분이 함께 평활화되어 전체적으로 결과 영상이 흐리게 나타나는데 반해 (c)의 제안하는 방법과 (d)의 HFD는 에지 경계가 흐려지지 않고 남아 있음을 볼 수 있다. 색상이 균일한 영역에 대해서는 HFD가 보다 효과적으로 잡음을 제거하는 것으로 나타났다. 이는 제안하는 방법이 영상의 에지 성분에 좀 더 민감하게 반응하기 때문으로 반면에 세부적인 묘사는 제안하는 방법이 보다 잘 표현하고 있다.

그림 8은 그림 7의 두 번째 줄 실험 영상에 표시된 에지 경계에서의 단면을 살펴 본 결과이다. 제안하는 방법과 HFD 모두 하프톤 노이즈를 효과적으로 제거하고 있으나 제안하는 방법에서의 영상의 에지 경계가 좀 더 원본 영상에 근접함을 확인할 수 있다.

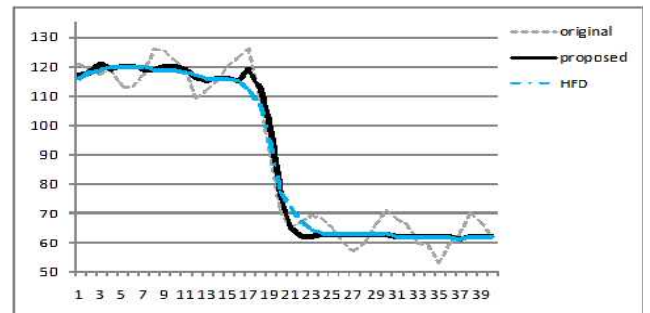


그림 8. 에지 경계에서의 단면

4. 결론

스캔된 하프톤 영상을 그대로 인쇄할 경우에는 하프톤 잡음의 영향과 스캐닝 과정에서 발생한 모아레 현상으로 인해 영상의 화질이 현저히 떨어진다. 이를 방지하기 위해서는 스캐닝 후에 descreeen 과정을 통해 연속계조 영상으로 변환시켜주는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 스캔된 하프톤 영상의 잡음을 지우기 위해 영상의 지배적인 에지 방향과 크기에 따라 적응적으로 필터의 크기가 변하는 가우시안 평활화 필터를 제안한다. 하프톤 잡음과 같이 잡음의 편차가 큰 경우에는 영상의 에지와 잡음을 구분하기 어려워 평활화가 충분히 이뤄지지 않으므로 제안하는 방법은 하

프톤 잡음과 영상의 에지의 방향성의 차이로부터 HOG를 이용하여 실제 에지의 방향을 찾는다. 제안하는 방법의 필터는 검출된 지배적인 에지의 방향에 평행하며 필터의 크기는 에지의 크기와 중심 픽셀의 밝기에 대한 가중치 함수에 따라 가변한다.

실제 스캐닝 대상이 되는 하프톤 문서는 하프톤의 크기와 형태가 다양하므로 잡지를 비롯하여 여러 종류의 프린터를 이용하여 인쇄된 문서를 스캔하여 실험을 수행하였으며, 실험 결과 제안하는 방법은 효과적으로 하프톤 잡음과 모아레 패턴을 제거함을 확인하였다.

참고 문헌

[1] 김종민, 김민환, "Clustered-dot 방법으로 해프톤된 인쇄물에 대한 칼라 역 해프톤링 방법," 멀티미디어학회 논문지, 제 2권, 제 3호, pp. 308-319, 1999.

[2] X. Liu, R. Ehrich, "Analysis of moire patterns in non-uniformly sampled halftones," *Image and Vision Computing*, vol. 18, no. 10, pp. 843-848, 2000.
 [3] 한영미, 김민환, "해프톤 도트 분포 분석 및 주파수 피크 위치 정제에 의한 해프톤 셀 정보 추정," 멀티미디어학회 논문지, 제 4권, 제 2호, pp. 116-129, 2001.
 [4] J. Luo, R. de Queiroz, Z. Fan, "A robust technique for image descreening based on the wavelet transform," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 46, no. 4, pp. 1179-1184, 1998.
 [5] H. Siddiqui, C. Bouman, "Training-based descreening," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 16, no. 3, pp. 789-802, 2007.
 [6] H. Siddiqui, M. Boutin, C. A. Bouman, "Hardware-Friendly Descreening," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 19, no. 3, pp. 746-757, 2010.

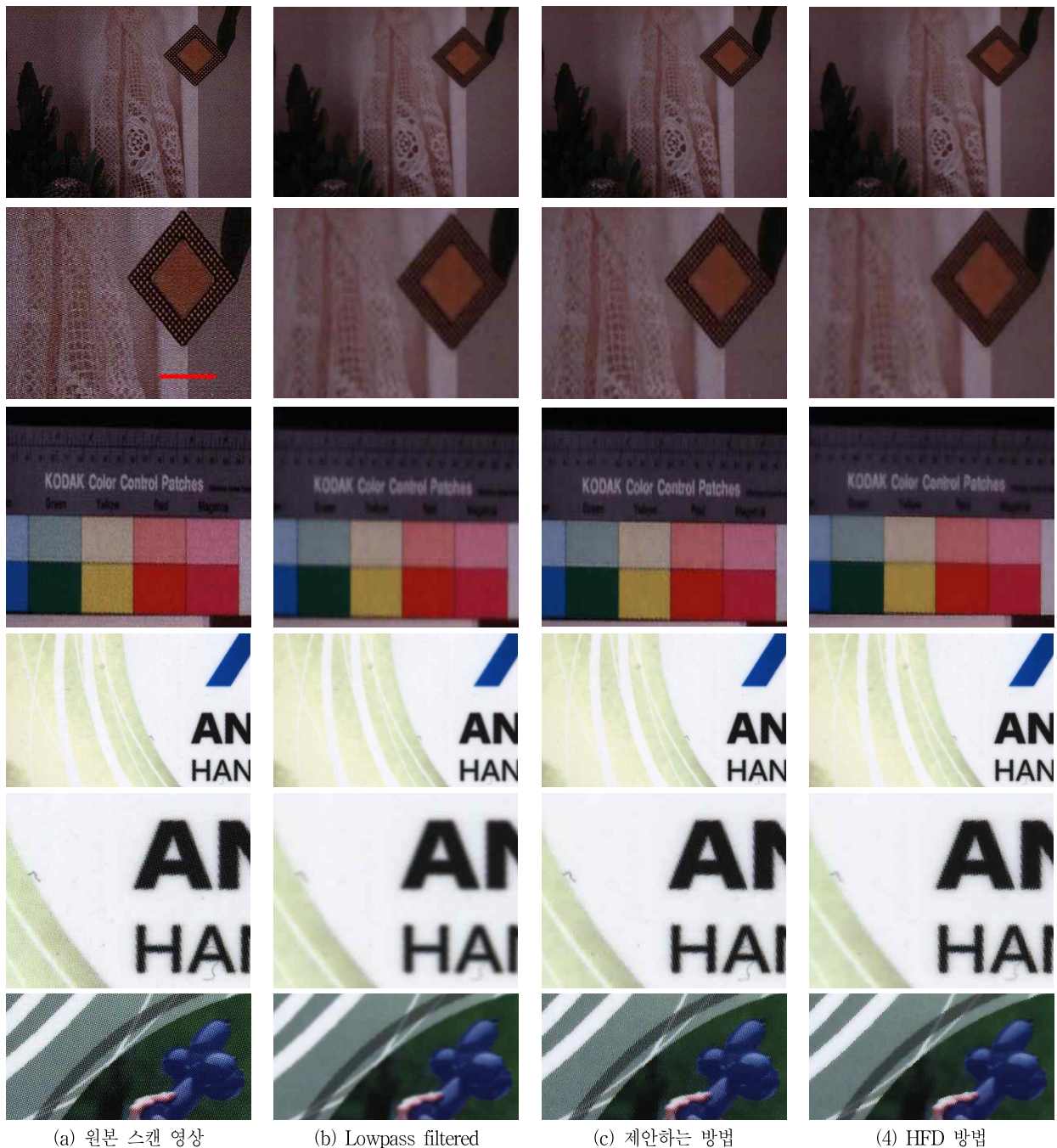


그림 7. 스캔된 하프톤 영상의 노이즈 제거 결과