

# Wavelet 변환 방식을 이용한 인쇄물 평가에 관한 연구

김택준, 조가람, 구철회\*

부경대학교 대학원 인쇄공학과, \*부경대학교 공과대학 화상정보공학부  
(2002년 1월 26일 접수, 2002년 2월 16일 최종본 접수)

## A study on print estimation using wavelet transformation method

*Taeck-Joon Kim, Ga-Ram Cho, Chul-Whoi Koo\**

Dept. of Graphic Arts Engineering, Graduate School of Pukyong National University,  
\*Division of Image & Information, College of Engineering, Pukyong National University  
(Received 26 January 2002, in final form 16 February 2002)

### Abstract

Wavelet transformation in image compression is to offer higher image compressibility and high-quality by quantization and entropy encoding.

More image quality is good that reconstructed image by wavelet calculation than acquire cosine transform. Therefore, wavelet itself is function if it is wavelet's feature, in this function, do processing applying difference scale and resolution. That is, this is not that fixed resolution has been decided like existent compression way, when it regulated scale, damage goes in pixel and picture looks like break without giving damage entirely in reflex even if magnify or curtail Decoding. Therefore, this paper is in Image that using new wavelet application compression way research that see applies comparing to each image neted this time compressing step by step with circle image compression efficiency recognize. Also, estimated quality pass through by printing of compressed image, investigated compression ratio of most suitable that get print of high quality and elevation of transmission speed.

## 1. 서 론

현재 개발된 영상압축의 대표적인 방법은 JPEG이나 MPEG이다. 전자는 정지영상, 후자는 MPEG은 동영상을 압축할 때 표준으로 널리 사용되어 왔다.

이러한 방법들은 Fourier 변환의 변형인 이산 코사인 변환(DCT; Discrete Cosine Transform)이론을 근간으로 개발되어져 왔다. 이 이론은 사인(sin)과 코사인(cosine)이 Hilbert space에서 기초가 이루어짐을 발견한 J. Fourier에 의해 이미 100여년 전에 이룩된 수학적 이론에 기반을 두었다. 그러나 DCT를 사용한 압축기술은 블록킹 현상(Blocking Artifacts)과 저 비트율에서의 급속한 화질의 저하 등 문제점이 나타났다.<sup>1, 2)</sup> 그 후 많은 연구를 거듭한 결과, 최근 10여 년간 급속도로 발전된 컴퓨터와의 결합으로 Fourier 변환을 한 차원 넘어서는 새로운 basis에 기반을 둔 빠른 알고리즘의 변환인 wavelet이론이 개발되었다. Wavelet을 응용한 새로운 영상압축은 기존의 방식보다 두 배 이상의 압축률을 가지고 있으며, 발전된 엔코드(encode)기술을 지원하고 있기 때문에 전송 속도도 빠르고 화질도 선명해 기존의 압축방식으로는 접근하기 힘들었던 지문인식, 의료, 위성 사진 등, 특수 분야에서도 점차 응용되어 가고 있다.

특히, 영상 압축에 있어서 wavelet 변환은 양자화와 엔트로피 엔코딩(entropy encoding)으로 보다 높은 영상 압축률과 고화질을 제공한다. Wavelet 계수로 재구성된 영상들은 코사인 변환(cosine transform)을 이용하여 획득한 영상보다 훨씬 화질이 우수하다. 왜냐하면 그 자체가 함수이고, 이러한 함수에 상이 한 스케일과 해상도를 적용하여 영상을 프로세싱하는 것이다. 즉, 이것은 기존의 압축방식처럼 일정한 해상도가 결정되어 있어 스케일을 조절했을 경우 픽셀에 손상이 발생하여 그림이 깨진 것처럼 보이는 것이 아니라, 화면을 확대하거나 축소하더라도 영상에 전혀 손상을 주지 않고 디코딩(Decoding) 할 수 있다는 것이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 wavelet을 응용한 새로운 압축 방식을 이용하여 저 해상도의 이미지에서부터 고해상도의 이미지를 각각의 단계별로 압축시켜 이 때 얻어진 이미지를 원 이미지와 비교하여 화상의 압축 효율을 구하였다. 또한, 압축되어진 이미지를 인쇄하여 품질을 평가함으로써 전송 속도의 향상과 저용량으로서 고품질의 인쇄물을 얻을 수 있는 최적의 압축 비를 알아보았다.

## 2. 이 론

### 2-1. 웨이블릿의 원리

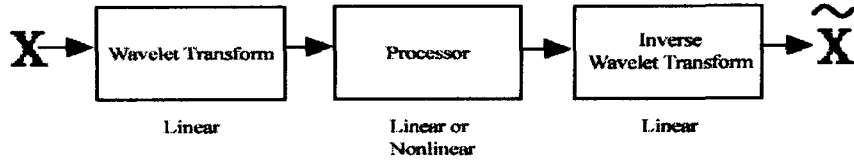


Fig. 1. Abstract of wavelet transformation base signal processing.

Fig. 1에서 주어진 신호  $X$ 를 웨이블릿 변환을 하게 되면 언급한 바와 같이 시간(공간) 정보와 주파수 정보를 동시에 가진 계수를 얻게 되고 이 계수를 응용에 따라 적당한 공정을 거쳐 다른 형태로 변환한 다음 역 변환을 거쳐서 원하는 신호나 영상을 얻을 수 있다.<sup>3)</sup>

웨이블릿은 한마디로 localized wave라고 할 수 있는데 이를 이용한 웨이블릿 변환은 특정 시간이나 공간에서의 신호의 주파수 특성을 알려준다.

또한, 기존의 푸리에변환은 cosine과 sine으로 이루어진 기저함수(basis function)을 이용한 변환인데 반하여 웨이블릿은 모 웨이블릿이라 불리는(mother wavelet)  $\phi$ 와 부 웨이블릿(father wavelet, scaling function)라고 불리는  $\phi$ 가 필요하다.

부 웨이블릿은  $\phi$ 로 표시하고 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$\phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_k h_k \phi\left(\frac{t}{2} - k\right) \quad (1)$$

여기서  $h_k$ 는 lowpass 필터의 계수로서  $h_k$ 들을 결정하면 그에 따라  $\phi$ 가 정의된다. high pass 필터계수인  $g_k$ 를  $(-1)^k h_{1-k}$ (단, 1은 홀수)로 정의하면 모 웨이블릿  $\phi$ 를 결정할 수 있으므로,  $\psi(t)$ 는  $\frac{1}{\sqrt{2}} \sum_k g_k \phi\left(\frac{t}{2} - k\right)$ 를 만족하는 함수가 된다.<sup>4)</sup>

모 웨이블릿  $\phi$ 가 결정되면  $\psi_{j,k}$ 를 모 웨이블릿에  $2^j$ 만큼 확장시키고  $2^{-j}k$ 만큼 이동한 함수인  $\psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k)$ 로 정의되어질 수 있고  $\{\psi_{j,k}(t); j, k \text{는 정수}\}$ 는  $L^2$ 의 기저함수가 된다. 웨이블릿에 의해 신호  $f(t) = \sum_{j,k} f_{j,k} \psi_{j,k}(t)$ 로 표현되는데, 여기서 웨이블릿 계수  $f_{j,k}$ 는 식(2)와 같다.

$$f_{j,k} = \int f_{j,k} \psi_{j,k}(t) dt \quad (2)$$

웨이블릿이 푸리에 급수에 비해 가지는 장점 중 하나는  $\psi_{j,k}$ 들이 여러 가지 형태의 신호를 훨씬 더 효율적으로 표현할 수 있어서 압축을 좋게 할 수 있다는 것이다.

### 2-2. 웨이블릿을 이용한 영상의 분해 및 합성

웨이블릿을 이용한 영상의 분해와 합성을 Fig. 2에서 나타내었다.

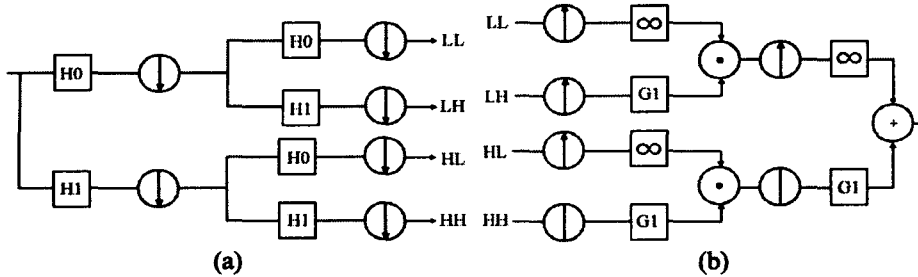


Fig. 2. Wavelet transformation decomposition and composition for image.

(a)는 영상의 분해과정을 보여주는 것으로서 입력 영상을 X축 방향으로 high pass filtering, low pass filtering한 다음, 다운 샘플링을 한 후, 필터링 된 각각을 다시 Y축 방향으로 필터링, 다운 샘플링(Down-sampling)하면 영상 분해가 된다.<sup>5)</sup> LL은 저주파 대역의 영상이고, LH, HL, HH는 각각 수평, 수직, 대각 방향의 엣지 성분을 가지는 고주파 대역의 부분영상이다. 그리고 (b)는 웨이블릿 역변환을 보여주는 그림으로 업샘플링(up-sampling)과 역 필터링을 통하여 영상이 복구되어진다.<sup>6)</sup>

### 2-3. 기본 알고리즘

웨이블릿 변환은 푸리에 변환(fourier transform)등과는 달리 비 안정적인 신호의 분석에 적당하다.<sup>5)</sup> 변환에서는 기본 웨이블릿이라 불리우는 기본 파형을 크기 변환(scaling or dilation) 및 위치 변환(translation or shift)하여 얻어지는 파형을 기본함수로 한다. 그 중 직교하는 것을 선택해 내는 것을 직교(orthogonal)웨이블릿 변환이라 한다.

DCT의 변환 구획이 고정되어 있는 것에 비해 웨이블릿 변환에서는 크기 변환에 의해 구획의 크기가 변화한다. 구획이 커지면 공간 분해 능력은 저하되지만 주파수 대역은 좁게 되므로 주파수 분해 능력은 높아진다. 반대로 구획이 좁아지면 주파수는 높은 곳으로 이동하게 되고 주파수 분해 능력은 저하되지만 공간 분해 능력은 높아진다. 이 성질을 이용하여 DCT부호화의 결점인 구획 왜곡이나 모스키토 잡음을 줄이도록 하고 있다.

저주파에서는 구획의 크기를 크게 하고, 또한 기본 함수를 구획의 끝에서 감쇠시키면서 겹치게 함으로서 구획의 왜곡을 줄인다. 또한 고주파에서는 구획의 크기를 작게 함으로써 모스키토의 잡음을 줄인다.<sup>7)</sup>

### 3. 실험

#### 3-1. 압축과 샘플이미지의 제작과 변환

Wavelet 변환을 통해 컬러 이미지와 흑백 이미지의 품질 변화를 보기 위해서 두가지 샘플을 제작하였다.

샘플 이미지는 “GATF digital test form 4.0” 이미지 중 풍부한 색의 영역을 가진 이미지를 선택하여 컬러 이미지와 흑백 이미지를 각각 제작하여 100, 200, 300, 400, 600의 해상도 별로 나누어 제작하였다. 제작한 샘플 이미지에 압축율을 10% 간격으로 9단계로 wavelet 변환을 하였다.

#### 3-2. 실험 방법

색차는 색의 지각적인 색차이며 또한 이것을 정량적으로 나타내는 것이 가능하므로 대단히 편리하다. 따라서 균등 색공간  $L^*a^*b^*$  표색계를 이용하여 색차를 구하는 색차식을 이용하였다. 또한 그레이 이미지의 압축률에 따른 압축된 이미지와 원 이미지의 명암 변화를 알아보기 위해서 히스토그램을 이용하여 비교 평가하였으며, 압축률에 따른 그레이 이미지의 영역에서 어떤 부분에 더 많은 영향을 미쳐 이미지 품질에 영향을 주는지 알아보았다. 이미지의 충실도를 평가하기 위해서는 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)과 SNR(Signal to Noise Ratio)방법을 이용하였으며, 주어진 샘플 이미지를 각각 10%에서 90%까지 10%간격으로 Wavelet 압축한 후 압축률에 따른 이미지 용량변화를 측정하여 비교 검토하였다.

차연산(Difference Operation)에 의한 시각적 평가<sup>8)</sup>를 하였으며, 또한 인쇄물의 주관적인 평가<sup>12)</sup>를 위해 해상도가 100ppi, 200ppi, 300ppi, 400ppi, 600ppi인 컬러 이미지를 각각 압축률에 따라 변화시켜 제작한 후 film으로 출력하여 Match print로 교정인쇄를 하고, D<sub>50</sub>광원에서 압축률과 해상도 차이에 따른 이미지의 인쇄품질을 시각적으로 비교하여 평가하였다.

### 4. 결과 및 고찰

#### 4-1. CIE $L^*a^*b^*$ 표색계를 이용한 색차 평가

Fig. 3은 wavelet 변환에 따른 원본 이미지와 샘플 이미지의 색차를 비교한 컬러 이미지의 그래프이다. 해상도가 높은 샘플 이미지일수록 비교적 색차의 차이가 적게 나타났다. 해상도가 100ppi인 이미지는 wavelet 압축 후 압축률이 20%단계에서 급속한 색차를 나타냈으나, 60%부터는 변화가 적은 완만한 색차를 보였다. 이것은 wavelet 압축률에 따라서 주변의 경계

부분에서의 화소들의 병합에 의해 이미지가 변질되기 때문이다. 해상도가 200ppi, 300ppi, 400ppi, 600ppi인 이미지는 색차가 일정한 비율로 증가하는 경향을 보였다. 이것은 정보가 많은 이미지일수록 저주파에서는 구역의 크기를 크게 하고, 또한 기본 함수를 구역의 끝에서 감쇠시켜 겹치게 함으로서 구획의 왜곡을 줄이며, 고주파에서는 구획의 크기를 작게 함으로써 모스키토의 잡음을 줄인 결과라 생각된다.

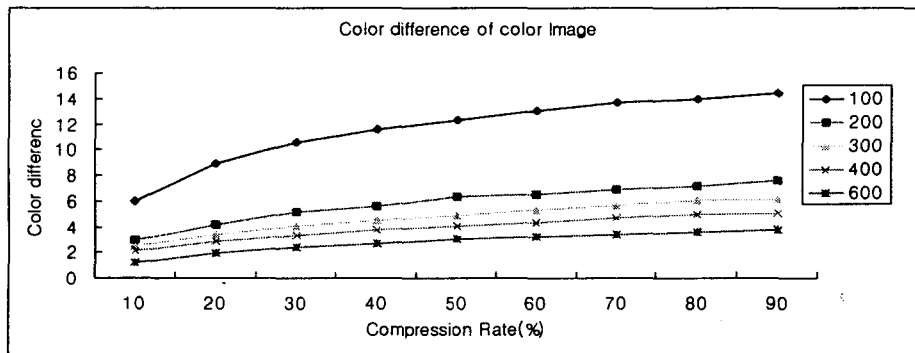


Fig. 3. Comparison of color difference between original color image and wavelet transformation color image according to compression rate.

#### 4-2. 히스토그램을 이용한 그레이 이미지의 평가

그레이 이미지의 압축률에 따른 압축되어진 이미지와 원 이미지의 명암 변화를 알아보기 위해 히스토그램의 결과를 Fig. 4 ~ Fig. 8에서 나타내었다. Fig. 4인 100ppi의 이미지에서는 전체적인 동적 범위에서 이미지의 하이라이트 부분과 새도우 부분이 손실되었으며, 미들부분으로 이미지의 계조가 움직였다. 이것은 전체적인 화소의 손실에 의한 이미지부분의 경계에서 생긴 잡음 때문이다. 하지만 Fig. 5의 200ppi, Fig. 6의 300ppi에서의 이미지와 Fig. 7의 400ppi, Fig. 8의 600ppi로 고 해상도의 이미지로 갈수록 이미지의 계조의 변화가 없음을 알 수 있다. 특히 400ppi 이상의 그레이 이미지에서는 원 이미지와 90%의 압축률을 가진 이미지와 원 이미지를 비교하였을 때 거의 차이를 보이지 않았다. 이것은 컬러 이미지와 마찬가지로 정보가 많은 이미지일수록 저주파에서는 구역의 크기를 크게 하고, 또한 기본 함수를 구역의 끝에서 감쇠시켜 겹치게 함으로서 구획의 왜곡을 줄이며, 고주파에서는 구획의 크기를 작게 함으로써 이미지의 손상을 줄인 결과이다.

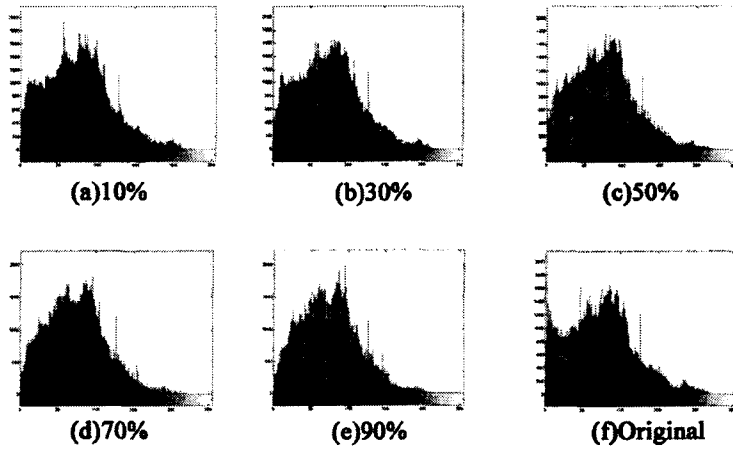


Fig. 4. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 100 ppi.

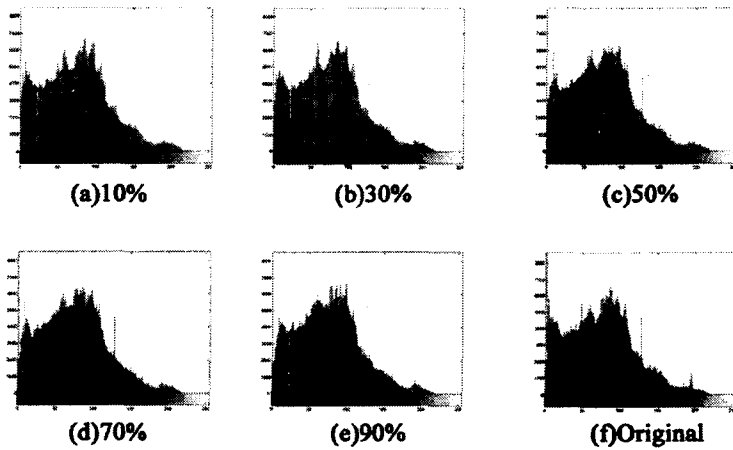


Fig. 5. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 200 ppi.

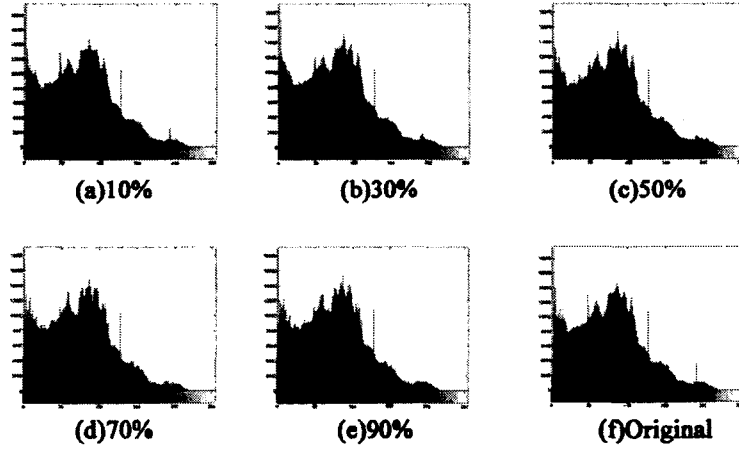


Fig. 6. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 300 ppi.

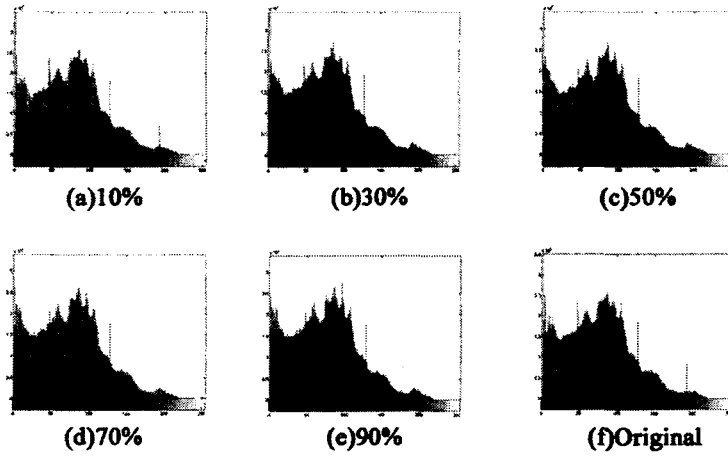


Fig. 7. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 400 ppi.



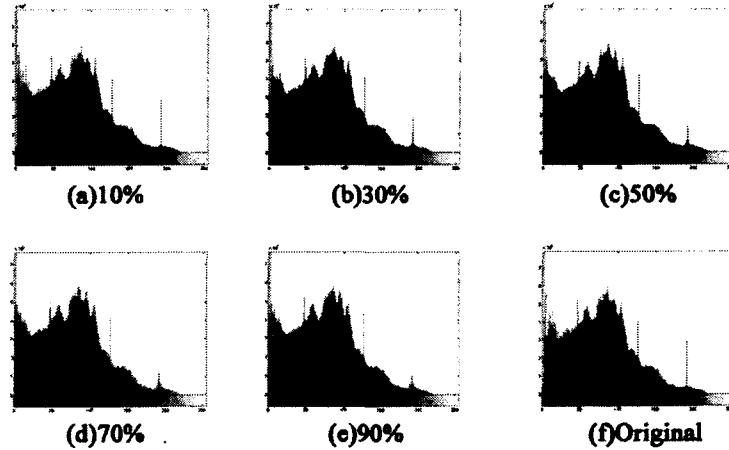


Fig. 8. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 600 ppi.

#### 4-3. PSNR에 의한 평가

Fig. 9는 Wavelet 압축에 따른 PSNR의 컬러 이미지 측정값으로, 어떤 기준치(50dB)를 원 영상으로 해서 일반적으로 PSNR 30dB에서 화질이 1.0dB 증가할 때마다 개선된 화질을 확인 할 수 있다.

해상도가 100ppi인 컬러 이미지인 경우는 30%단계 이상에서 30dB이하로 떨어지지만 해상도가 그 이상인 200ppi, 300ppi, 400ppi, 600ppi인 샘플이미지인 경우는 완만한 폭으로 떨어지면서 PSNR이 30dB이하로는 떨어지지 않는 것을 볼 수가 있다. 이것은 해상도가 높을수록 압축률에 따른 이미지의 손상이 적게 나타남을 의미한다. 또한 Fig. 10인 그레이 이미지는 100ppi, 200ppi의 저해상도 이미지에서는 압축이 됨에 따라 화질의 질이 매우 떨어지는 것을 알 수가 있으나, 300ppi 이상의 해상도로 넘어가면서 이미지를 압축하여도 PSNR의 수치가 매우 높게 나타남으로서 이미지의 손상이 적음을 알 수가 있었다.

#### 4-4. 이미지의 충실도에 의한 평가

이미지의 충실도에 의한 평가 방법인 SNR(Signal to Noise Rate)은 원 이미지와 압축된 이미지를 비교하여 두 이미지의 화질이 얼마나 비슷한가를 수치(dB)로 알아보는 것이다. 이미지의 SNR값의 결과를 Fig. 11과 Fig. 12에 각각 나타내었다. 컬러 이미지인 Fig. 11인 경우에는 압축률에 따라 저해상도 이미지인 100ppi, 200ppi가 화질의 차가 많이 나

타났다. 또한 해상도가 증가할수록 재현이 우수하였으며, 압축률이 20%단계까지는 변화가 적었다. 또한 Fig. 12인 흑백 이미지에서는 압축전과 후를 비교해 보면 저해상도일수록 화질의 차가 높고 고 해상도일수록 차이가 적었으며, 특히 300ppi와 400ppi의 이미지는 압축률이 20%까지는 SNR값의 폭이 크게 나타났다.

#### 4-5. 압축률에 따른 이미지의 용량 평가

샘플 이미지의 압축률에 따른 이미지 용량변화를 평가한 결과 Fig. 13, 14와 같이 나타났다. Fig. 13인 컬러 이미지의 경우, 고해상도일수록 상대적으로 저해상도 이미지보다 압축효율이 우수하였다. 특히 압축률이 10%일 때 가장 효율이 높았으며 20%이상에서는 용량 변화가 적었다. 또한 Fig. 14인 흑백 이미지 역시 고해상도일수록 압축률이 10%일 때 가장 효율이 좋았으며 20%이상일 때는 변화가 적었다.

전체적인 이미지를 살펴보면 고해상도 이미지로 갈수록 이미지의 손실은 적으면서 압축 효율은 더 크다는 것을 알 수 있었다.

따라서, wavelet 압축 방식은 낮은 압축률로 충분하게 용량을 줄이면서도 급속히 전송 속도의 향상과 이미지 품질의 손실도 적음을 알 수가 있었다.

#### 4-6. 차연산(Difference Operation)에 의한 시각적 평가

시각적 이미지 품질 변화를 알아보기 위해 차연산에 의한 방법을 도입하였다. 이 방법은 원 이미지에 압축된 이미지를 각각 뺀 후 남은 값을 이미지로 나타낸 것이다. 해상도가 다른 각각의 컬러 이미지와 흑백 이미지를 wavelet 방식으로 압축하여 원 이미지와 압축한 이미지의 차이를 시각적으로 판단하기 위해 차연산을 조사한 결과를 Fig. 15, 16, 17, 18, 19, 20과 같이 100ppi에서 300ppi까지만 나타내었다.

차연산에 의한 평가 방법은 이미지의 윤곽이 선명하게 나타날수록 원 이미지와 압축한 이미지 사이에 차이가 많은 것으로, 이미지의 손실이 많음을 뜻한다. 컬러 이미지와 흑백 이미지 모두 고해상도로 갈수록 이미지의 손실이나 차이를 느낄 수가 없다는 것을 볼 수가 있다. 이 결과로 보면 wavelet 압축 방식은 무손실 압축에 거의 가까우면서 기존의 압축 방식보다도 최대 신호잡음비나 시각적인 측면 모두에서도 월등히 뛰어난 성능을 보였다.

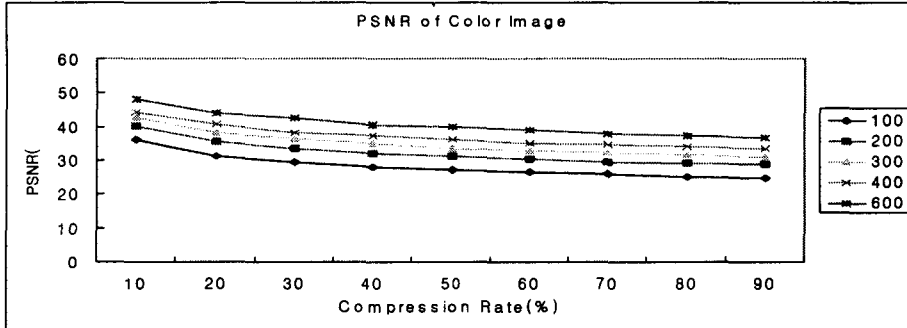


Fig. 9. Comparison of PSNR between original color image and wavelet transformation color images according to compression rate.

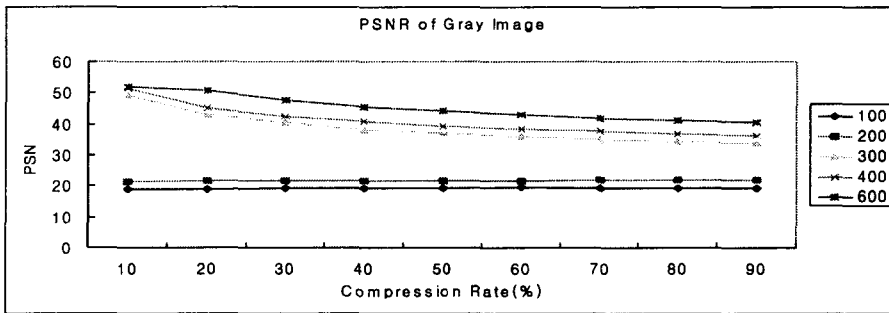


Fig. 10. Comparison of PSNR between original gray image and wavelet transformation gray images according to compression rate.

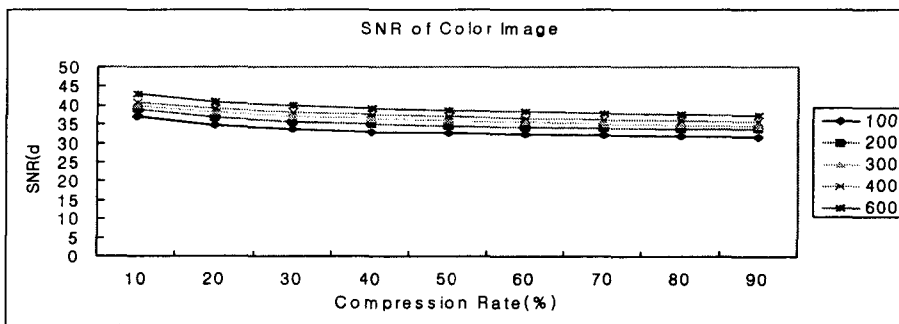


Fig. 11. Comparison of SNR between original color image and wavelet transformation color images according to compression rate.

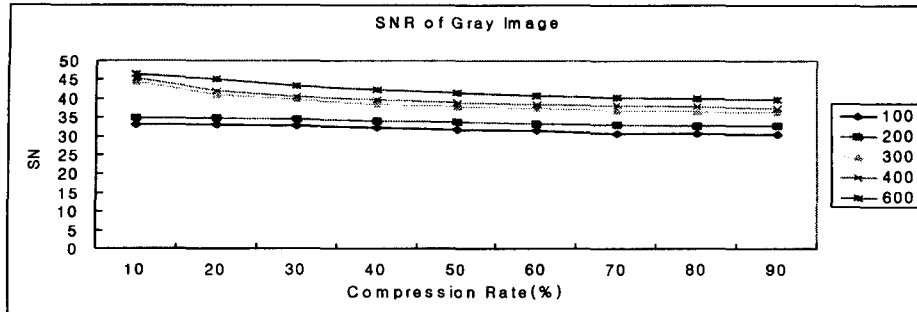


Fig. 12. Comparison of SNR between original gray image and wavelet transformation gray images according to compression rate.

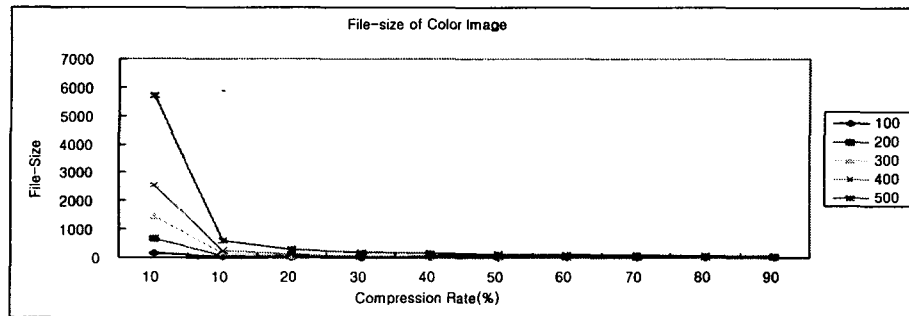


Fig. 13. Comparison of file size between original color image and wavelet transformation color image according to compression rate.

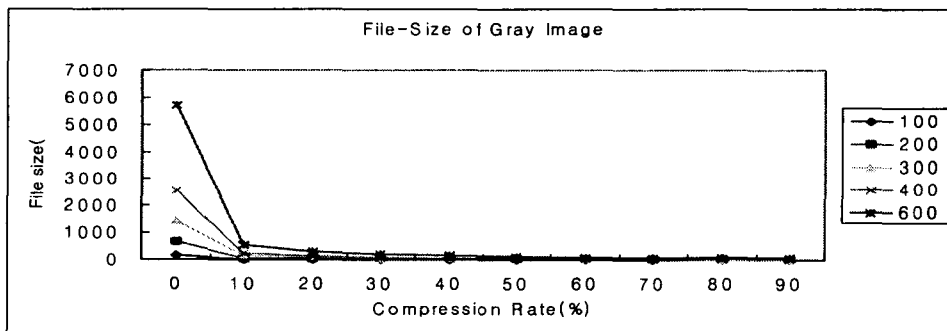


Fig. 14. Comparison of file size between original gray image and wavelet transformation gray image according to compression rate.

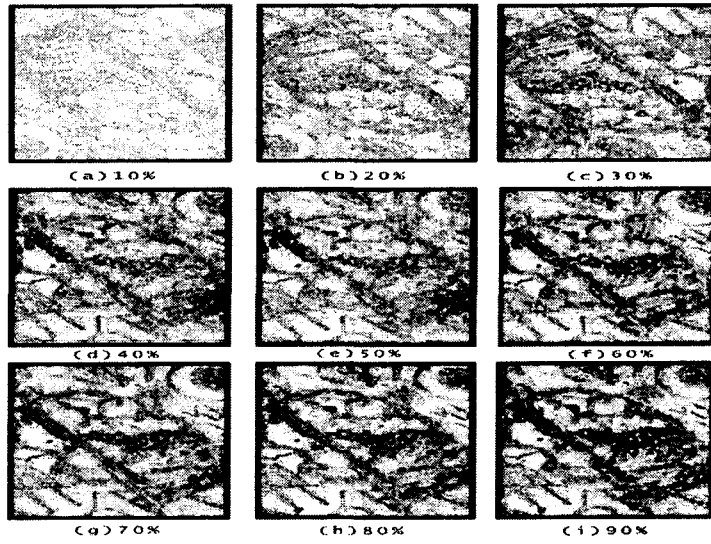


Fig. 15. Vision estimation that color image according to Difference Operation in 100 ppi.

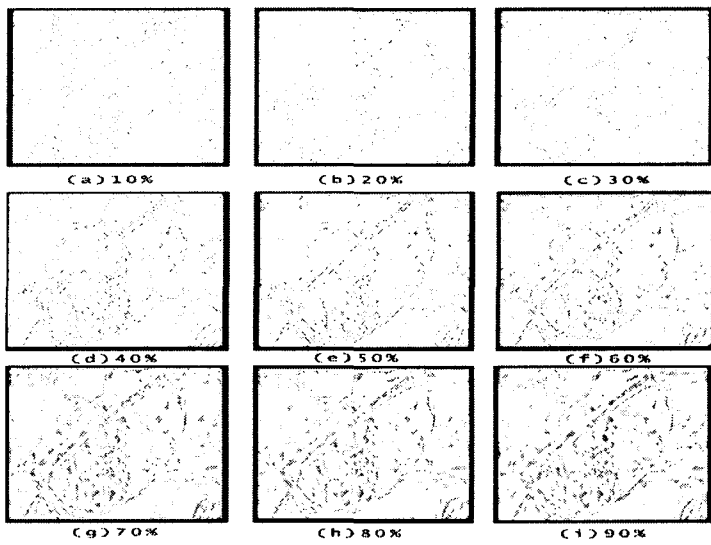


Fig. 16. Vision estimation that gray image according to Difference Operation in 100 ppi.

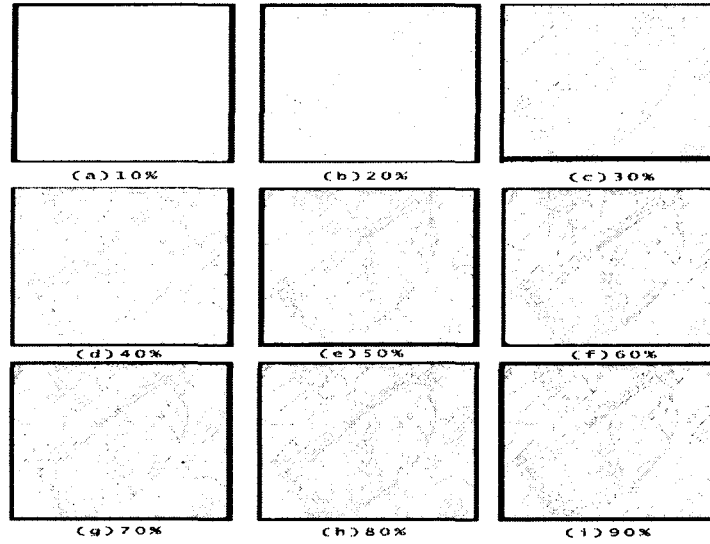


Fig. 17. Vision estimation that color image according to Difference Operation in 200 ppi.

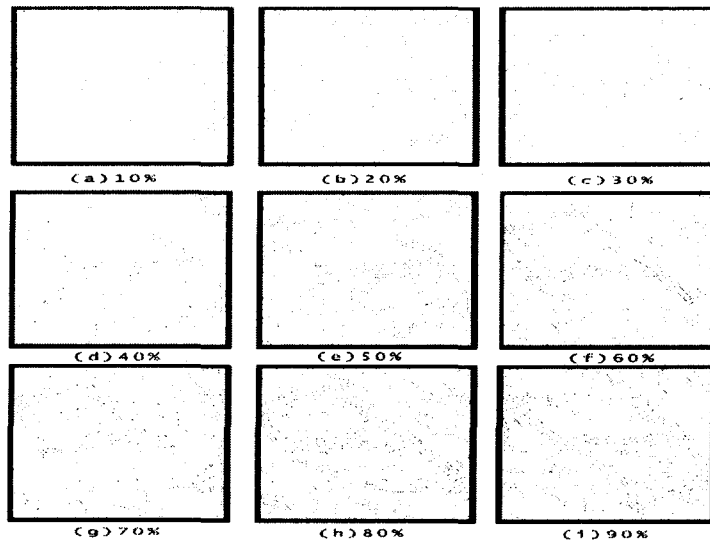


Fig. 18. Vision estimation that gray image according to Difference Operation in 200 ppi.

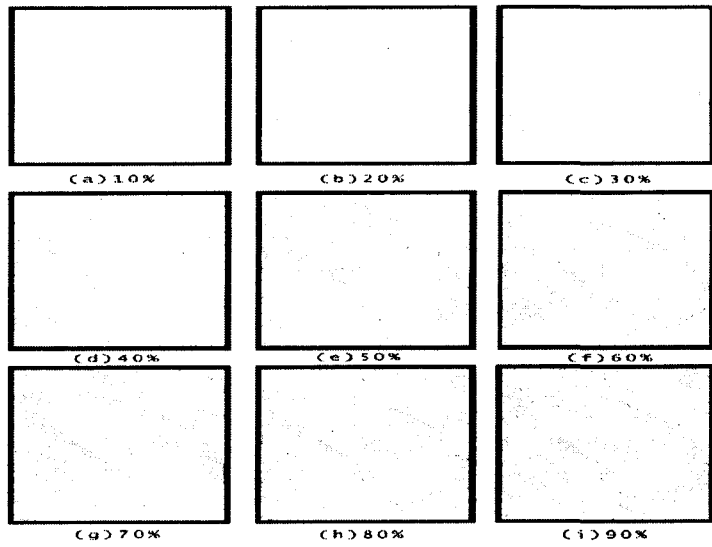


Fig. 19. Vision estimation that color image according to Difference Operation in 300 ppi.

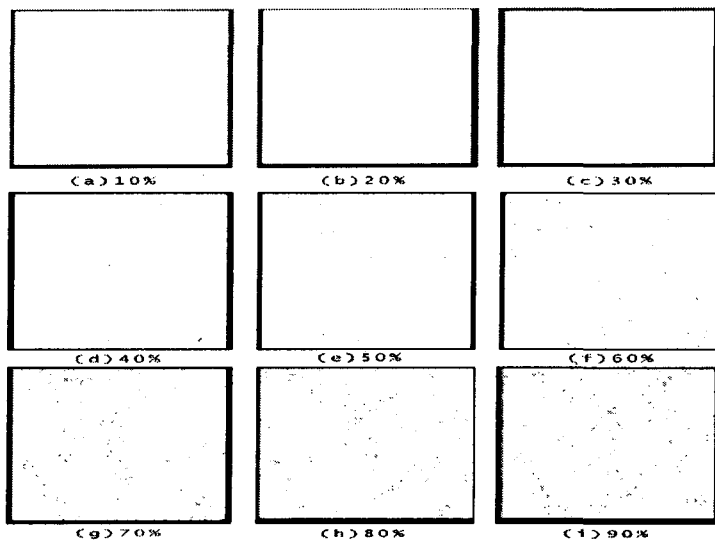


Fig. 20. Vision estimation that gray image according to Difference Operation in 300 ppi.

#### 4-7. 인쇄물의 주관적인 평가

Match Print로 교정 인쇄한 원본 이미지와 다른 압축률로 압축한 컬러 이미지중 해상도가 300ppi인 샘플 이미지를 10개 선택하였다.

정해진 원 이미지와 샘플 이미지를 표준 광원 D<sub>50</sub>에서 육안으로 한 주관적 평가를 한 결과, Fig. 22와 같이 압축률이 증가할 수록 계측기로 측정 한 결과와 비교할 때 50%까지 압축을 하여도 이미지의 손상을 식별하기 어려웠다. 따라서, 300ppi 이상의 해상도를 가진 이미지를 wavelet 변환을 할 경우, 압축 효율이 매우 우수함을 알 수 있었다.

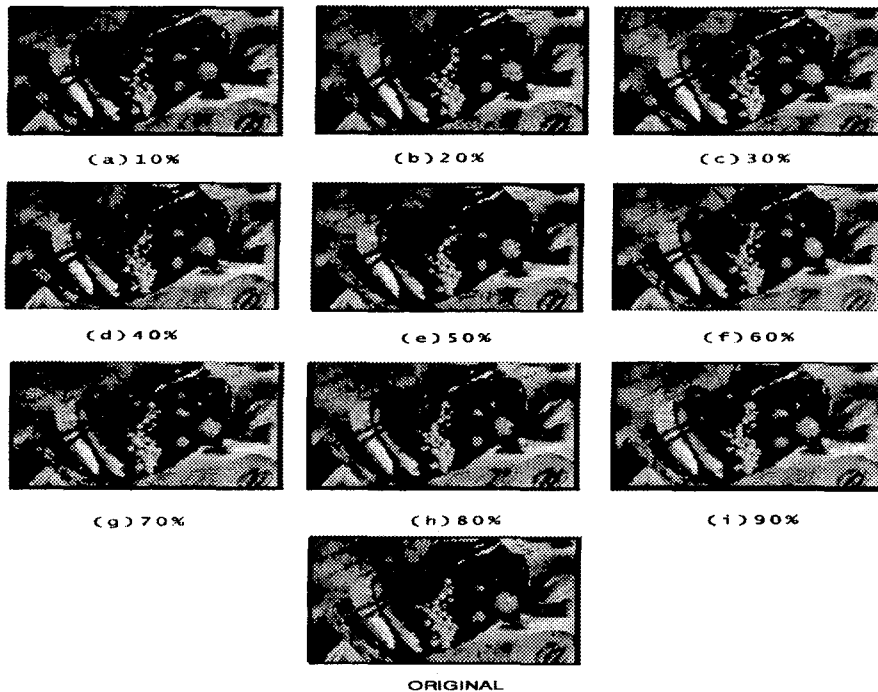


Fig. 21. Printing quality transformation of image according to compression rate of print

## 5. 결 론

Wavelet 변환을 통해 해상도가 다른 각각의 컬러 이미지와 흑백 이미지의 품질 변화를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 정보가 많은 이미지일수록 저주파에서는 구역의 크기를 크게 하고 또한 기본 함수



를 구역의 끝에서 감쇠시키면서 겹치게 함으로서 구획의 왜곡을 줄이며, 고주파에서는 구획의 크기를 작게 함으로써 모스키토의 잡음을 줄일 수 있으므로, 해상도가 높은 샘플 이미지일수록 색차의 차이가 적게 나타났다.

2) PSNR에 의한 평가에서도 300ppi 이상의 해상도로 넘어가면서 이미지를 압축하여도 PSNR의 수치가 매우 높게 나타남으로서 이미지의 손상이 적음을 알 수가 있었다.

3) 이미지의 충실도에 의한 평가인 SNR에서는 컬러 이미지인 경우에는 압축률에 따라 저해상도 이미지인 100ppi, 200ppi가 화질의 차가 많이 나타났고, 해상도가 증가할수록 재현이 우수하였으며, 압축률이 20%단계까지는 변화가 적었다. 흑백 이미지에서는 압축전과 후를 비교해 보면 저해상도일수록 화질의 차가 높고 고해상도일수록 차이가 적었으며, 용량에 의한 평가에서는 낮은 압축률로 충분하게 용량을 줄이면서도 이미지 손실이 적음을 알 수가 있었다.

4) 차연산에 의한 시각적 평가에서도 역시 wavelet 압축 방식을 사용함으로써, 300ppi 이상의 고 해상도 이미지에서도 거의 손실이 없음을 알 수 있어, 고 압축률로 충분하게 용량을 줄이면서도 고 품질 이미지의 인쇄가 가능함을 알 수가 있었다.

따라서, Wavelet 변환을 이용하여 압축을 할 경우, 저해상도 이미지보다는 300ppi 이상의 고품질 이미지에서 손상을 최소한으로 줄이면서 압축률을 50%이상 처리할 수 있어, 고품질의 인쇄물에서도 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- (1) 김윤영, 이남용, “웨이블렛의 공학적 응용”, 한국소음진동학회지, Vol. 9, No. 5 (1999).
- (2) 유지상, “웨이블렛과 영상처리”, 광운대학교 전자공학과 (1999).
- (3) C. S Burrus, R. A Gopinach, and H, Guo, “Introduction to wavelets and wavelet transforms”, Prentice-Hall. (1998).
- (4) I. Daubenchies, “Orthonormal bases of compactly supported wavelets”, *comanure, Appl, Math*, Vol. 41, No. 7, pp 909~996 (1998).
- (5) 김철기, 차의영, “웨이블릿을 이용한 영상압축”, 한국멀티미디어 학회지, Vol. 4, No. 3. (2000).
- (6) S. G. Mallat and S. Zhong, “Characterization of signals from multi-scale edges”, *IEEE Trans. Pattern Anal, Machine Intell*, Vol. PAMI-14, No. 7. July, pp 710~732 (1992).
- (7) Y. Xu, J. B, Weaver, D. M. Healy. Jr and J. Lu, Wavelet transform Domain Filters : A Spatially Selective Noise Filtration Technique *IEEE Trans, Image Processing*, Vol. 3, No. 6, pp 747~758, November (1994).
- (8) Yong-Joon Cha, Young-Sung Soh, “Line-based Image Stabilization”, *Kisps Summer Conference 2001*, Vol. 2, No. 1. (2001).