

工學碩士學位論文

Wavelet 변환 방식을 이용한 인쇄물
평가에 관한 연구

指導教授 具哲會

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



釜慶大學校 大學院

印刷工學科

金澤俊

목 차

목 차	i
List of Figures	iii
List of Tables	vi
Abstract	vii
1. 서 론	1
2. 이 론	3
2-1. Wavelet의 특징	3
2-2. Wavelet의 원리	4
2-3. Wavelet을 이용한 영상의 분해 및 합성	5
2-4. 기본 알고리즘	5
2-4-1. Harr wavelet	6
2-4-2. EZW를 이용한 wavelet	7
3. 실 험	10
3-1. 압축과 샘플이미지의 제작과 변환	10
3-2. 실험 방법	10
3-2-1. L*a*b* 표색계를 이용한 색차 평가	10

3-2-2. 히스토그램을 이용한 그레이 이미지의 평가	11
3-2-3. PSNR에 의한 품질 평가	11
3-2-4. 이미지의 충실도에 의한 평가	12
3-2-5. 압축률에 따른 이미지의 용량 변화	12
3-2-6. 차연산(Difference Operation)에 의한 시각적 평가	12
3-2-7. 인쇄물의 주관적인 평가	13
4. 결과 및 고찰	14
4-1. $L^*a^*b^*$ 표색계를 이용한 색차 평가	14
4-2. 히스토그램을 이용한 그레이 이미지의 평가	15
4-3. PSNR에 의한 품질 평가	21
4-4. 이미지의 충실도에 의한 평가	21
4-5. 압축률에 따른 이미지의 용량 변화	23
4-6. 차연산에 의한 시각적 평가	24
4-7. 인쇄물의 주관적인 평가	33
5. 결 론	36
참고문헌	38

List of Figures

Fig. 1. Abstract of wavelet transformation base signal processing	3
Fig. 2. Wavelet transformation decomposition and composition for image	5
Fig. 3. subband's scan order In EZW	9
Fig. 4. Comparison of color difference between original color image and wavelet transformation color image according to compression rate . . .	14
Fig. 5. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 100 ppi	16
Fig. 6. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 200 ppi	17
Fig. 7. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 300 ppi	18
Fig. 8. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 400 ppi	19
Fig. 9. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 600 ppi	20
Fig. 10. Comparison of PSNR between original color image and wavelet transformation color images according to compression rate	22
Fig. 11. Comparison of PSNR between original gray image and wavelet	

transformation gray images according to compression rate 22

Fig. 12. Comparison of SNR between original color image and wavelet transformation color images according to compression rate 23.

Fig. 13. Comparison of SNR between original gray image and wavelet transformation gray images according to compression rate 23

Fig. 14. Comparison of file size between original color image and wavelet transformation color image according to compression rate 26

Fig. 15. Comparison of file size between original gray image and wavelet transformation gray image according to compression rate 26

Fig. 16. Vision estimation that color image according to Difference Operation in 100 ppi 27

Fig. 17. Vision estimation that gray image according to Difference Operation in 100 ppi 28

Fig. 18. Vision estimation that color image according to Difference Operation in 200 ppi 29

Fig. 19. Vision estimation that gray image according to Difference Operation in 200 ppi 30

Fig. 20. Vision estimation that color image according to Difference Operation in 300 ppi 31

Fig. 21. Vision estimation that gray image according to Difference Operation in 300 ppi 32

Fig. 22. Printing quality transformation of image according to compression
rate of print34

List of Tables

Table 1. Decompose processing	6
Table 2. Synthesis processing	7
Table 3. Result of subjective estimation for print	34

A study on print estimation Used Wavelet transformation Method

Taeck-Joon Kim

*Dept. of Graphic Arts Engineering, Graduate School of
Pukyong National University*

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. 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.

Therefore, when Wavelet transformation used compression, can processed more 50% compressibility by lossy minimum in high quality image more 300 ppi than low resolution image.

So, could be used usefully in printing of high quality.

1. 서론

현대 사회는 정보화 사회이고, 통신 시설의 발달과 함께 정보화 시대는 더욱 더 우리 앞에 현실로 다가오고 있다. 이러한 정보 중 우리가 가장 친숙하게 접할 수 있는 형태 중 하나가 영상 정보이지만, 대부분의 영상 정보는 디지털화되어진 이미지의 형태로 저장되고 전송되어진다. 이 디지털화가 된 이미지는 그 저장용량이 방대하다. 또한, 영상이 복잡하거나 영상의 크기가 커지면 그 이미지의 저장용량은 더욱 더 커질 수밖에 없으므로 파일로 저장할 경우 많은 기억용량을 차지하게 된다. 영상을 전송 할 때에는 많은 시간과 비용이 소요되는 단점이 있으므로 이에 대한 저장정보량을 압축시켜주는 기술, 영상의 압축과 압축된 영상을 원 영상으로 복원해 주는 기술의 개발은 정보화 시대에 필수적이라 할 수 있다. 정보의 홍수라고 할 만큼 정보처리 요구 량의 증가 속도가 정보통신기술의 발달 속도를 앞서는 상황에서 영상 압축기술은 기존의 통신 시설을 더 확충하지 않고서도 정보로서의 가치를 높이기 위한 아주 귀중한 기술로 여겨 질 수밖에 없기 때문이다. 지금까지 개발된 영상압축의 대표주자는 JPEG(Joint Photographic Experts Group)이나 MPEG(Moving Picture Experts Group)이다. JPEG은 정지영상, MPEG은 동영상 압축 표준으로 널리 사용되고 있다.

이러한 방법들은 Fourier 변환의 변형인 이산 코사인 변환(DCT, Discrete Cosine Transform)이론을 기초로 해서 개발되어져 왔다. 이것은 사인(sin)과 코사인(cosine)이 Hilbert space에서 기초가 이루어짐을 발견한 J. Fourier에 의해 이미 100여년전에 체계화 된 수학적인 이론에 기반을 두었다. 하지만 DCT를 사용한 압축기술은 블로킹 현상(Blocking Artifacts)과 저 비트율에서의 급속한 화질 저하 등의 문제점이 나타났다.^{1,2)} 그래서 많은 연구를 거듭한 결과, 최근 10여 년

간 급속도로 발전된 컴퓨터와의 결합으로 Fourier 변환을 한 차원 넘어서는 새로운 basis에 기반을 둔 빠른 알고리즘의 변환인 Wavelet 이론이 등장하였다. Wavelet 해석은 그 기원을 입자 물리학의 양자장론 중에서 renormalization group 이론, 수학의 조화분석(harmonic analysis)중에서 Calderon-Zygmund operator 이론, 그리고 신호처리분야의 multiresolution filter bank 이론 등에 두고 있다. Wavelet을 응용한 새로운 영상압축은 기존의 영상 압축 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 활발히 응용이 진행되고 있다.

특히, 영상 압축에 있어서 Wavelet 변환은 양자화와 엔트로피 엔코딩(entropy encoding)으로 보다 높은 영상 압축률과 고화질을 제공한다. Wavelet 계수로 재구성된 영상들은 cosine transform을 이용하여 획득한 영상보다 훨씬 화질이 좋으므로 Wavelet의 특징이라면 그 자체가 함수이고, 이러한 함수에 상이 한 스케일과 해상도를 적용하여 영상을 처리한다. 즉, 이것은 기존의 압축방식처럼 일정한 해상도가 결정되어 있어 스케일을 조절했을 경우 픽셀에 손상이 가서 그림이 깨진 것처럼 보이는 것이 아니라, 화면을 확대하거나 축소하더라도 영상에 전혀 손상을 주지 않고 영상을 복원할 수 있다는 것이다.

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

2. 이 론

2-1. Wavelet의 특징

Wavelet은 1909년 Haar에 의해 처음으로 언급이 되었다. Haar Wavelet은 유한 구간 밖으로 소멸하는 특성이고, compact support를 가지고 있지만 연속적인 미분이 불가능한 특성을 가지고 있다. Wavelet은 신호를 다른 주파수 성분으로 분할하며, 다른 해상도로 신호를 처리한다. 또한 Wavelet은 높은 주파수 영역에서는 작은 창(window)인 축소된 기저함수를 사용하고, 낮은 주파수 영역에서는 큰 창인 확장된 기저함수를 사용한다. 큰 창으로 신호를 보게 되면 신호의 전역적인 특성을 볼 수 있고, 작은 창으로 신호를 보면 국부적인 특성을 볼 수 있다. Wavelet의 이러한 특성은 비 선형을 취급하는 분야-컴퓨터 그래픽, 영상 압축, 물리학 등 광범위한 분야에 응용되고 있다.

2-2. Wavelet의 원리

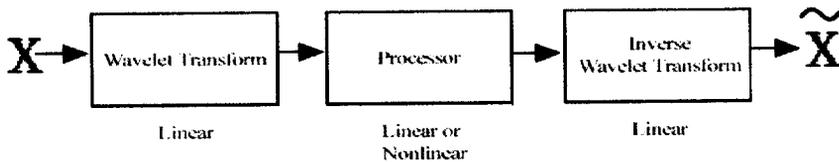


Fig. 1. Abstract of Wavelet transformation base signal processing.

위 그림에서 주어진 신호 X를 Wavelet 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 신

호나 영상을 얻을 수 있다.³⁾

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

또한, 기존의 푸리에 변환은 cosine과 sine으로 이루어진 기저함수(basis function)을 이용한 변환인데 반하여 Wavelet은 모 Wavelet이라 불리는(mother Wavelet) ϕ 와 부 Wavelet(father Wavelet, scaling function)라고 불리는 Φ 가 필요하다.

부 Wavelet은 Φ 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 Φ 가 정의된다. high pass 필터계수인 g_k 를 $(-1)^k h_{1-k}$ (단, 1은 홀수)로 정의하면 모 웨이블릿 ϕ 를 결정할 수 있으므로, $\phi(t)$ 는 $\frac{1}{\sqrt{2}} \sum_k g_k \Phi\left(\frac{t}{2} - k\right)$ 를 만족하는 함수가 된다.⁴⁾

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

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

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

것이다.

2-3. Wavelet을 이용한 영상의 분해 및 합성

Wavelet을 이용한 영상의 분해와 합성을 Fig. 2.에서 나타내었다.

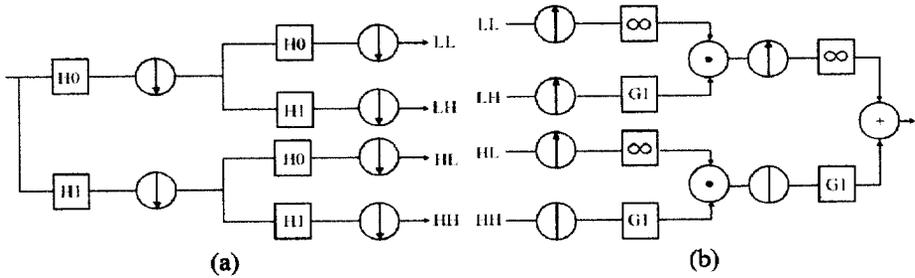


Fig. 2. Wavelet transformation decomposition and composition for image.

(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.⁵⁾ LL은 저주파 대역의 영상이고, LH, HL, HH는 각각 수평, 수직, 대각 방향의 엣지 성분을 가지는 고주파 대역의 부분영상이다. 그리고 (b)는 Wavelet 역변환을 보여주는 그림으로 업샘플링(up-sampling)과 역 필터링을 통하여 영상이 복구되어진다.⁶⁾

2-4. 기본 알고리즘

Wavelet 변환은 푸리에 변환(fourier transform)등과는 달리 비 안정적인 신호의 분석에 적합하다.⁵⁾ 변환에서는 기본 Wavelet이라 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) Wavelet 변환이라 한다.

DCT의 변환 구획이 고정되어 있는 것에 비해 Wavelet 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.⁷⁾

2-4-1. Haar Wavelet⁵⁾

정지 영상은 2차원 행렬로 생각할 수 있고 동영상은 3차원 행렬로 생각할 수 있다. 여기에서는 1차원 행렬[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]을 간단히 살펴보면 Table 1의 데이터와 같은 분해 과정을 가진다. 이것은 신호를 평균값(moving average)을 갖는 부분과 미세한 값(moving difference)을 갖는 부분으로 분류한 것이다.

Table 1. Decompose processing

Resolution	Smooth Data c_k	Detail data d_k
8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	
4	1.5, 3.5, 5.5, 7.5	-0.5, -0.5, -0.5, -0.5
2	2.5, 6.5	-1.0, -1.0
1	4.5	-2.0

Table 1과 같이 resolution가 2의 smooth data는 $(1+2)/2$, $(3+4)/2$ 으로 구하고, detail data도 $(1-2)/2$, $(3-4)/2$ 으로 구한다. 또한, resolution은 1의 값을 요구하기 위해서는 resolution이 2인 smooth Data를 구해야 한다. 즉, $(1.5+3.5)/2$ 와 같게 요구해야 한다.

위와 같은 방법을 반복해서 분해가 이루어져 최종적으로, {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 6, 8}를 Haar Wavelet을 사용하여 분해하면, {4.5, -2.0, -1.0, -1.0, -0.5, -0.5, -0.5, -0.5}가 된다. 여기서 4.5이외의 데이터는 detail data를 나타내고, 또한 4.5는 수열의 평균치를 나타냄을 알 수 있다.

이러한 분해 결과를 다시 decoding하기 위해서는 Table 2와 같이 결과값에서 위로 올라가는 작업을 하면 된다.

Table 2. Synthesis processing

Resolution	Smooth Data c_k	Detail data d_k
1	4.5	-2.0
2	2.5, 6.5	-1.0, -1.0
4	1.5, 3.5, 5.5, 7.5	-0.5, -0.5, -0.5, -0.5
8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	0

Resolution를 1부터 2를 구하기 위해서는 $(4.5+(-2.0))$, $(4.5-(-2.0))$ 로 반복하면, 최종적으로 {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}과 같이 된다.

2-4-2. EZW를 이용한 Wavelet

기존의 영상압축으로 많이 사용된 JPEG은 기본적인 변환방법으로 DCT를 사용하고 있다고 언급을 하였다.

이러한 영상 압축의 기본적인 방법인 DCT변환방법은 영상을 일정한 블록으로 잘라서 변환하기 때문에 압축률이 높아지게 되면 구획화 현상(blocking effect)이

나타나게 된다. 이러한 현상은 주관적인 인간의 시각적 특성이나 PSNR(Peak to signal noise ration)등의 객관적인 측정에서도 원 영상과 상당히 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 이러한 블록화 현상은 같은 PSNR을 갖는 다른 영상과 비교해 볼 때 인간의 시각을 더 많이 자극함으로써 영상의 질이 현저하게 저하됨을 보여준다. 또 하나의 압축방법으로 임베디드 제로트리 Wavelet(Embedded Zerotree Wavelet : EZW)은 상당히 효과적으로 압축을 시킨다. EZW 알고리즘은 영상에서 정보의 대부분을 포함하고 있는 저주파수 대역의 계수들과 엣지 정보를 포함하고 있는 고주파수 대역의 계수들 간의 상관관계를 이용하고 있다.

따라서, 임베디드 영상 부호화는 원 영상의 신호를 점진적으로 근사해나가는 방식으로 부호화가 진행함에 따라 영상복원에 중요한 정보가 먼저 전송되어 영상 화질이 조금씩 향상되는 방식이다. 이러한 부호화의 진행은 응용분야에 따라 상이하지만 일반적으로 수신측이 요구하는 화질을 만족할 때까지 계속된다. Wavelet 변환에서 임베디드 부호화의 대표적인 방식은 Shapiro가 제안한 EZW방식이다. 이 방식은 계속하여 감소되는 임계치의 집합을 사용하였고, Wavelet 계수들은 이 임계치와 비교함으로써 중요계수의 여부를 결정하여 Wavelet 계수의 크기가 임계치의 관점에서 “0” 혹은 “1”(중요계수)로 표시하였다.

이 방식은 매우 낮은 비트율에서 대부분의 서브트리(subtree)의 노드들이 “0”값을 갖는다는 사실을 이용하였으며, 이 때 이러한 트리를 제로트리(Zerotree)라 하였다. Fig. 3은 이러한 특성을 그림으로 표현하였다. EZW방식은 중요 Wavelet 계수의 위치를 부호화 하는데 매우 효율적이며 한 영상의 Wavelet 변환에 의해서 얻어진 에너지 집중현상을 효과적으로 이용한 알고리즘이라 할 수 있다.⁸⁾

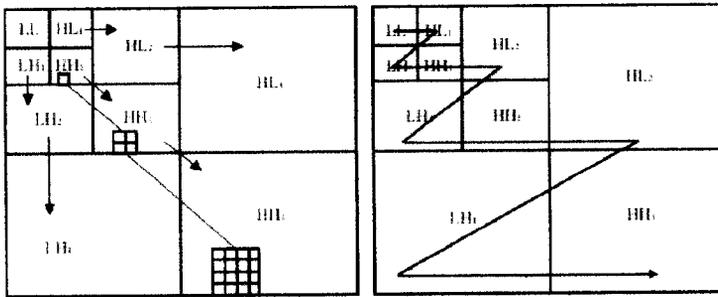


Fig. 3. subband's scan order In EZW.

EZW 부호화는 현재까지 제안된 영상 압축 알고리즘이며 다양한 응용분야에서 만족할 만한 특성을 제공하고 있다. 그러나 이 방식에서 각 계수의 상태를 결정하기 위해서 반복적인 계산을 수행해야 하므로 빠른 전송과 응답이 요구되는 분야에서는 알고리즘의 특성상 좋은 결과를 기대하기 어렵다는 단점이 있다. Wavelet 변환에 의해 영상이 공간 주파수 대역으로 분할될 때, 각 대역내의 계수들간의 상관성은 원 영상에 비해 커지게 된다. 이러한 이유로 Wavelet 계수값을 부호화하기 위해 주유 경로(dominate pass)와 보조 경로(subordinate pass)를 거친다. 주요 경로는 특정 임계치에 대응하는 유효 계수 값을 찾기 위해 전체 계수를 검색한다. 초기 임계치는 모든 계수 값 중에서 최대 값을 찾아 2로 나눈 값을 사용하고, 그 다음 번의 주요 경로 임계치는 모든 계수 값 중에서 최대값을 찾아 2로 나눈 값이다. 임의의 계수와 그에 따른 모든 자식 노드가 비중요 계수를 갖는다면 이들 계수 값과 위치 정보가 "zerotree root"로 부호화되어 압축된 데이터를 얻을 수 있다.

3. 실험

3-1. 압축과 샘플 이미지의 제작과 변환

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

샘플 이미지는 “GATF digital test form 4.0” 이미지 중 계조가 풍부한 24bit 컬러의 이미지를 선택하여 컬러 이미지와 흑백 이미지로 구분하고, 100, 200, 300, 400, 600의 해상도 별로 각각 나누어 제작하였다. 제작한 샘플 이미지에 압축율을 10%의 간격을 주고 9단계로 Wavelet 변환 압축을 하였다.

3-2. 실험 방법

3-2-1 L*a*b*표색계를 이용한 칼라 이미지의 색차 평가

색차는 색의 지각적인 차이(색차)이며 또한 이것을 정량적으로 나타내는 것이 가능하므로 대단히 편리하다. 따라서 균등 색공간 L*a*b* 표색계를 이용하여 색차를 구하는 색차식이라는 것이 도입되었다.

L*a*b*에 의한 표색계 혹은 CIELAB에 의한 색차 ΔE^*_{ab} 는 다음의 식으로 얻어진다.

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3)$$

여기서 ΔE^* , Δa^* , Δb^* 를 구하기 위해 L^* , a^* , b^* 는 다음식으로 나타낸다.

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

(단 $Y/Y_n > 0.008856$)

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}], \quad b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

(단 $X/X_n > 0.008856$, $Y/Y_n > 0.008856$, $Z/Z_n > 0.008856$)

L^* : CIE 1976 명도지수(psychometric lightness)

X, Y, Z : XYZ계에서 색차의 3자극치,

X_n, Y_n, Z_n : 확산 반사면 XYZ에서의 삼자극치

3-2-2 히스토그램을 이용한 그레이 이미지의 평가

그레이 이미지의 압축률에 따른 압축된 이미지와 원 이미지의 명암 변화를 알아보기 위해서 히스토그램을 비교 평가하였다. 히스토그램이 높은 명암대비를 가진 영상이라면 밝고 어두운 영역을 모두 포함하며, 좋은 명암의 대비는 이미지에서 섀도우와 하이라이트 부분의 사이에서 적당한 대비를 나타냄으로써 선명도와 디테일감을 동시에 살리는 것을 말한다. 그래서, 압축률에 따른 그레이 이미지의 영역에서 어떤 부분에 영향을 미쳐서 품질에 어떤 영향을 주는지 알아보았다.

3-2-3 PSNR에 의한 평가⁹⁾

PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)은 어떤 기준치(50dB)를 원 영상으로 해서 설정해놓은 화질 측정 단위를 말하며, 일반적으로 PSNR 30dB에서 화질이 1.0dB 증가할 때마다 개선된 화질의 상태를 눈으로 구분할 수 있다. 그러므로, 각각 해상도를 다르게 하여 제작한 이미지를 Wavelet 압축을 한 후, 원 이미지와 압축 이미지를 비교 평가하기 위해 식(4)를 이용하여 PSNR을 구하였다.

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{255}{RMSE} \quad (4)$$

여기서 RMSE(root mean squared error)는 $\sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [f(i, j) - \hat{f}(i, j)]^2}$

로 구할 수 있으며, $f(i, j)$ 와 $f'(i, j)$ 는 원본 이미지와 변환된 이미지의 픽셀을 나타내고 M과 N은 각각 가로와 세로의 이미지 크기를 나타낸다.

3-2-4 이미지의 충실도에 의한 평가

이미지의 충실도를 평가하기 위해 SNR(Signal to Noise Ratio)방법을 이용하였다. SNR은 원 영상과 복원된 영상(영상압축에서)을 비교하여 두 영상의 화질이 얼마나 비슷한가를 수치(dB)로 알아보는 것이다. dB가 높아 질 수록 복원된 영상의 화질이 원 영상과 비슷한 것으로 측정식은 식(5)과 같다.

$$SNR_{rgb} = 20 \log_{10} \frac{(255)}{\sqrt{MSE}} \quad (MSE: \text{평균자승오차}) \quad (5)$$

3-2-5 압축률에 따른 이미지의 용량 평가¹⁰⁾

각각 해상도별(100ppi, 200ppi, 300ppi, 400ppi, 600ppi)로 칼라와 그레이 이미지에서 주어진 원 이미지를 각각 10%에서 90%까지 10%간격으로 Wavelet 압축한 후 압축률에 따른 원 이미지와 압축되어 제작된 이미지의 용량변화를 측정하여 비교 검토하였다.

3-2-6 차연산(Difference Operation)에 의한 시각적 평가¹¹⁾

시각적으로 판단하기 쉽게 하기 위해 원 이미지와 압축되어진 이미지와의 차이로 나온 값을 이미지로 나타내었다. 이미지가 선명하게 나타나면 원 이미지에 비해 압축한 이미지가 손상이 많다는 것을 뜻을 의미하는 반면에 차 연산에 의해 나타난 이미지가 잘 나타나지 않으면 그만큼 원 이미지와 압축되어진 이미지와의 관계는 손상이 거의 없음을 뜻한다.

3-2-7 인쇄물의 주관적인 평가 ¹²⁾

해상도가 100ppi, 200ppi, 300ppi, 400ppi, 600ppi인 컬러 이미지를 각각 압축률에 따라 변화시켜 제작한 샘플 이미지를 film으로 출력한 후에 Match print로 교정 인쇄를 하였다. 교정 인쇄한 인쇄물을 D₅₀광원에서 압축률과 해상도 차이에 따른 이미지의 인쇄품질을 시각적으로 원 이미지와 가장 비슷한 이미지를 순차적으로 선별하여 그때의 압축 단계를 알아보고 평가하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1. CIE L*a*b* 표색계를 이용한 색차 평가

Fig. 4는 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 경계부분에서의 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 사료된다.

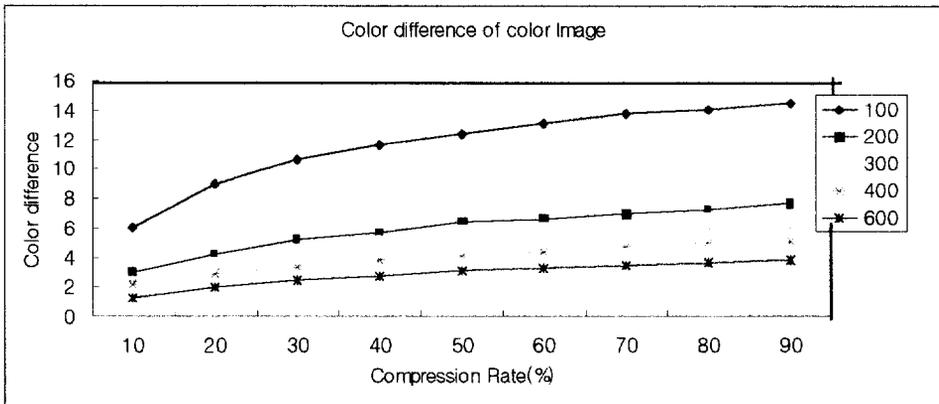


Fig. 4. Comparison of color difference between original color image and Wavelet transformation color image according to compression rate.

4-2. 히스토그램을 이용한 그레이 이미지의 평가

그레이 이미지의 압축률에 따른 압축되어진 이미지와 원 이미지의 명암 변화를 알아보기 위해 히스토그램의 결과를 Fig. 5, Fig.6, Fig. 7, Fig. 8, Fig.9에서 나타내었다. 여기서, x축은 레벨이며 y축은 픽셀의 수이다. Fig. 5인 100ppi의 이미지에서는 전체적인 동적 범위에서 이미지의 하이라이트 부분과 섀도우 부분이 손실되었다. 이것은 전체적인 화소의 손실에 의한 이미지부분의 경계에서 생긴 잡음 때문이라고 사료된다. 하지만 Fig. 6의 200ppi, Fig. 7의 300ppi에서의 이미지와 Fig. 8의 400ppi, Fig. 9의 600ppi로 고 해상도의 이미지로 갈수록 이미지의 계조의 변화가 없음을 알 수 있다. 특히 400ppi 이상의 그레이 이미지에서는 원 이미지와 90%의 압축률을 가진 이미지와 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 결과라 사료된다.

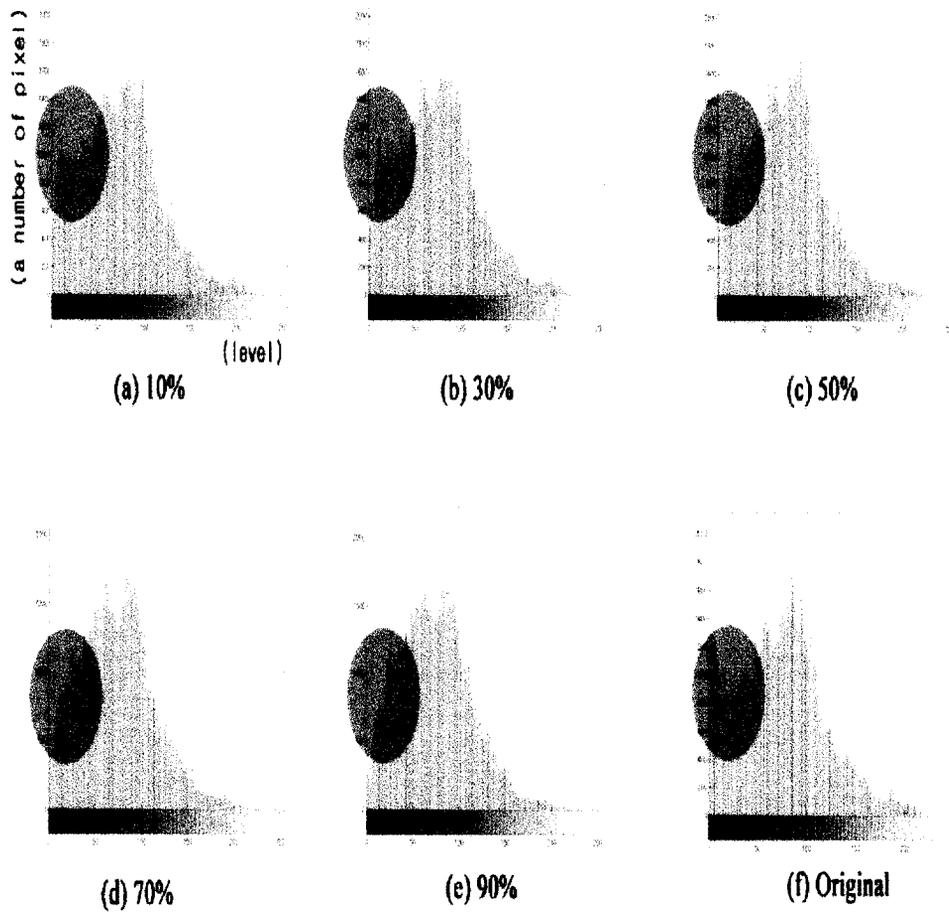


Fig. 5. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 100 ppi

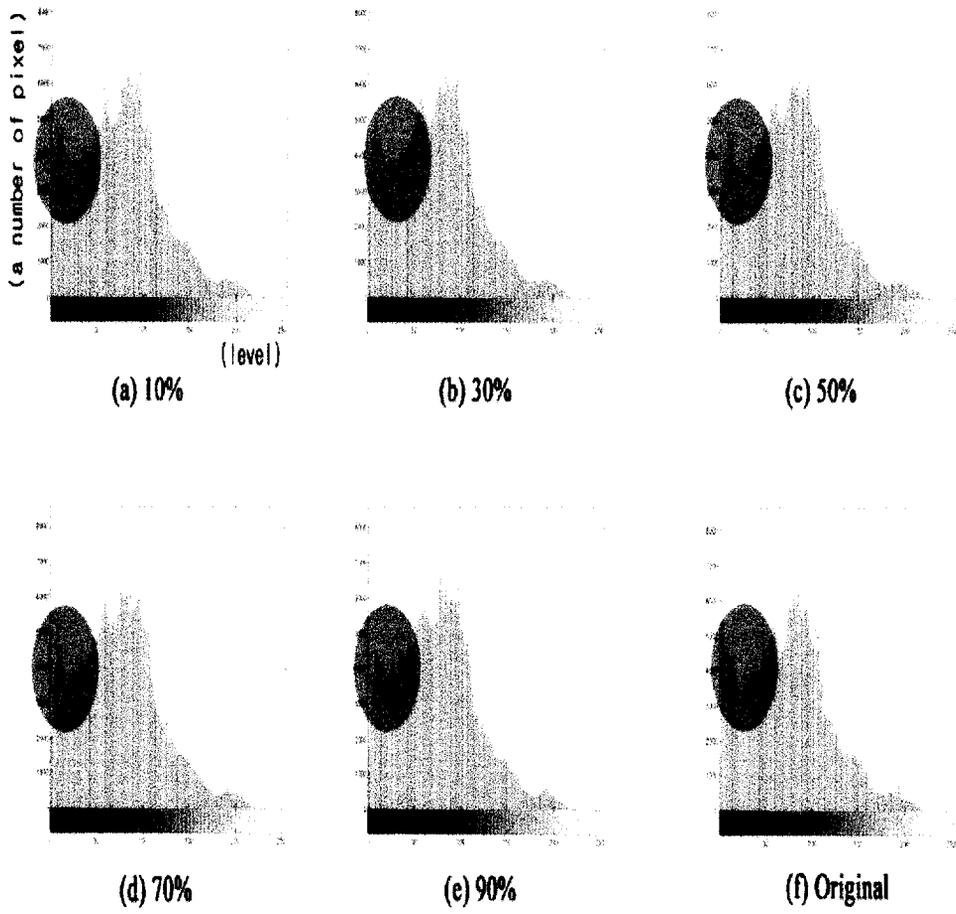


Fig. 6. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 200 ppi

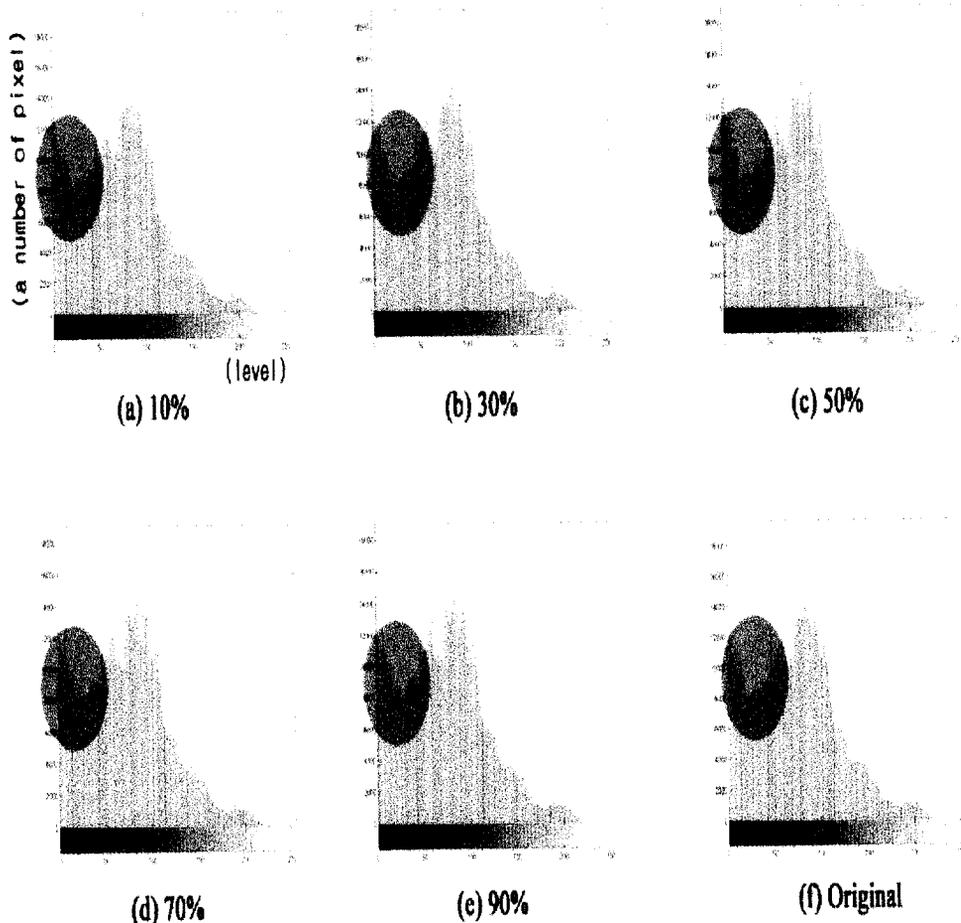


Fig. 7. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 300 ppi

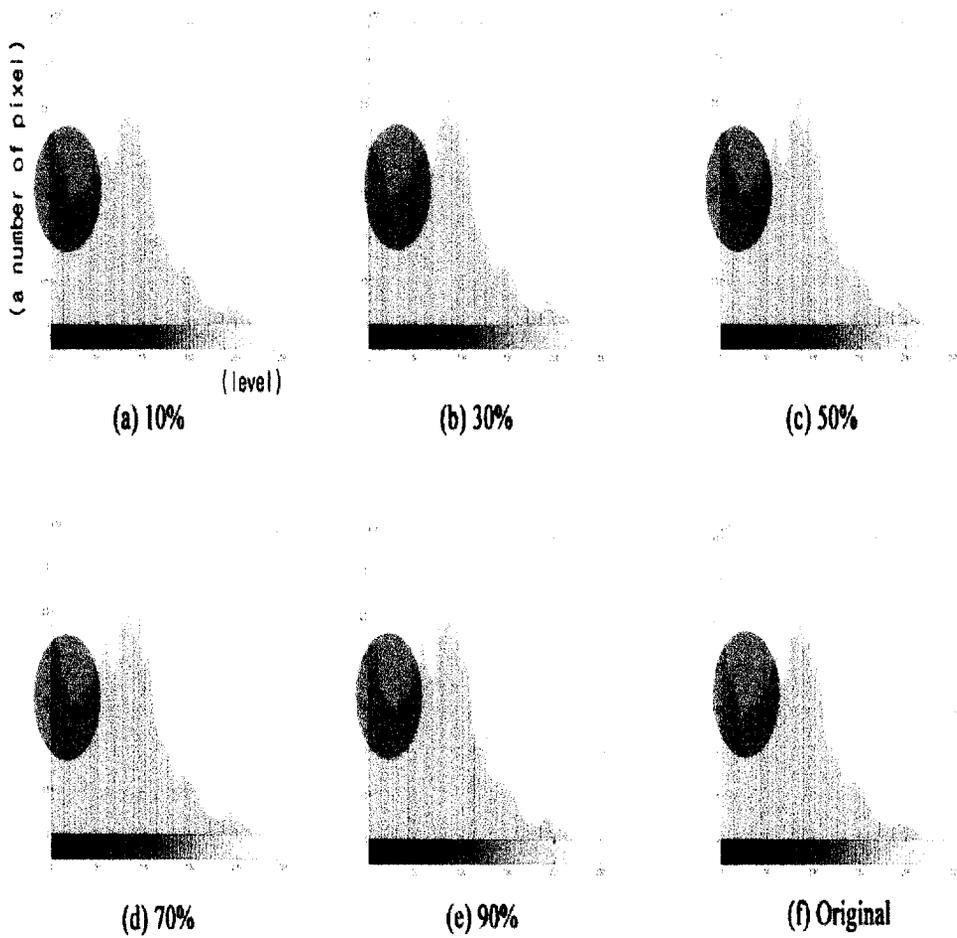


Fig. 8. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 400 ppi

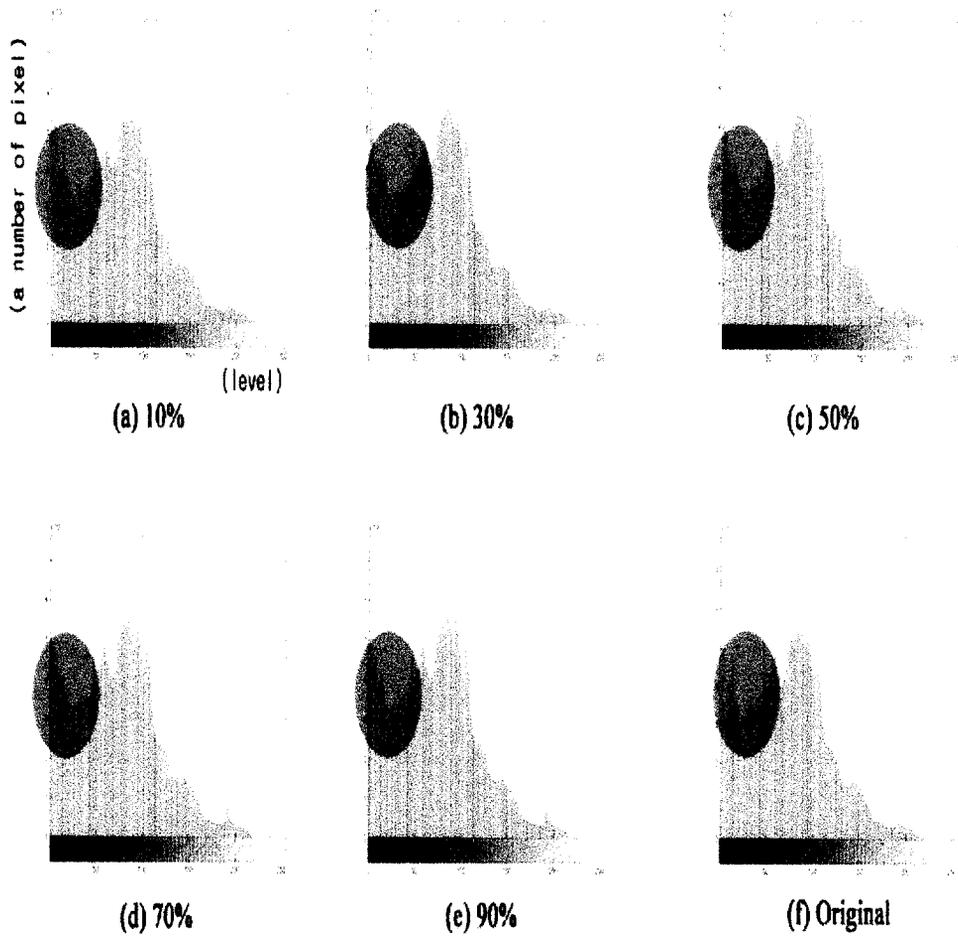


Fig. 9. Comparison of histogram between original gray image and compressed gray image according to compression rate of 600 ppi

4-3. PSNR에 의한 평가

Fig. 10은 Wavelet 압축에 따른 PSNR의 칼라 이미지 측정값으로, 어떤 기준치(50dB)를 원 영상으로 해서 일반적으로 PSNR 30dB에서 화질이 1.0dB 증가할 때마다 개선된 화질을 확인 할 수 있다. 해상도가 100ppi의 컬러 이미지인 경우는 30%단계 이상에서 30dB이하로 떨어지지만 해상도가 그 이상인 200ppi, 300ppi, 400ppi, 600ppi인 샘플이미지의 경우는 완만한 폭으로 떨어지면서 PSNR이 30dB이하로는 떨어지지 않는 것을 볼 수가 있다. 이것은 저해상도 이미지를 고 압축률로 압축을 하면 Ringing현상 때문인 것으로 사료된다. Ringing현상은 고주파 대역에서 손실된 양자화 오차에서 오차의 영향으로 엣지 부분에서의 허상이 나타나는 것으로서, 기존의 영상 압축방식의 블록킹 현상과 마찬가지로 화질을 떨어뜨리는 요인이다. 또한 Fig. 11.인 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. 12과 Fig. 13에 각각 나타내었다. 컬러 이미지인 Fig. 12 인 경우에는 압축률에 따라 저해상도 이미지인 100ppi, 200ppi가 화질의 차가 많이 나타났다. 해상도가 증가할수록 재현이 우수하였으며, 압축률이 20%단계까지는 변화가 적었다. 또한 Fig. 13 인 흑백 이미지에서는 압축전과 후를 비교해보면 저 해상도일수록 화질의 차가 높고 고 해상도일수록 차이가 적었으며, 특히 300ppi와 400ppi의 이미지는 압축률이 20%까지는 SNR값의 폭이 크게 나타났다.

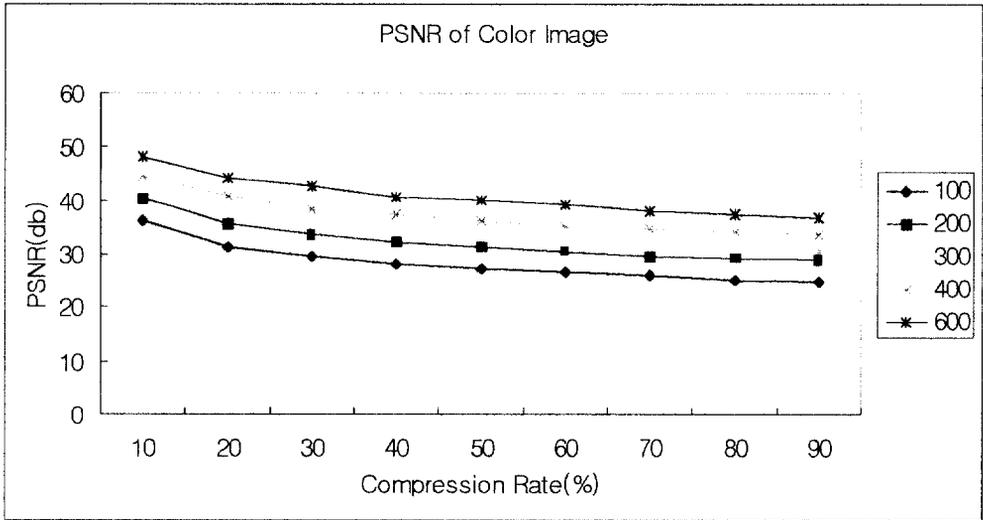


Fig. 10. Comparison of PSNR between original color image and Wavelet transformation color images according to compression rate.

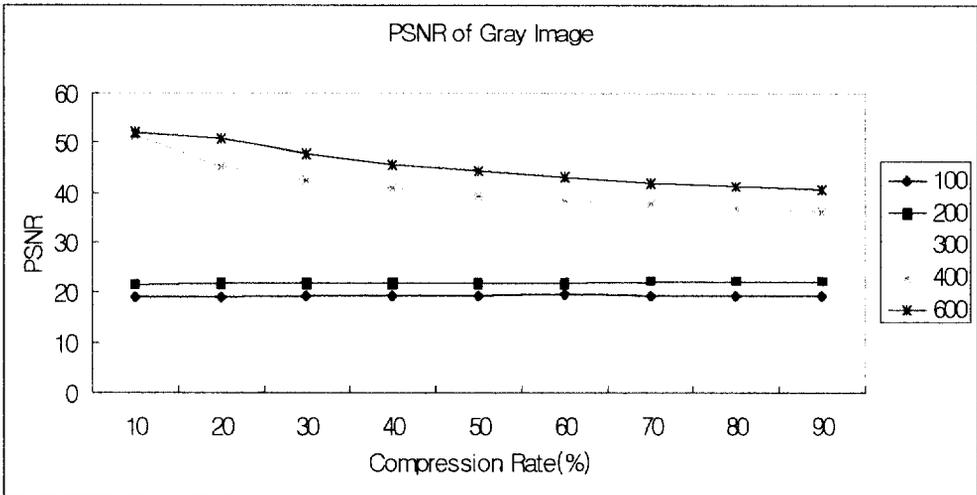


Fig. 11. Comparison of PSNR between original gray image and Wavelet transformation gray images according to compression rate.

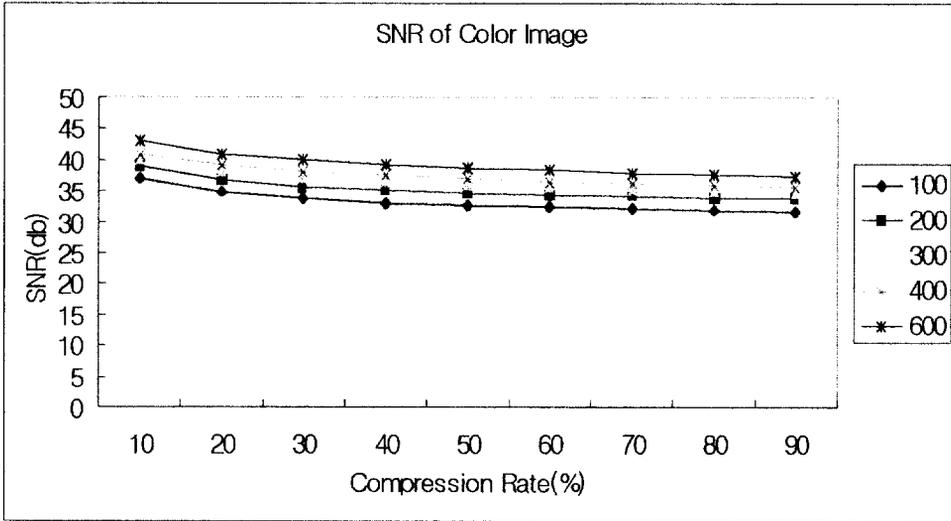


Fig. 12. Comparison of SNR between original color image and Wavelet transformation color images according to compression rate.

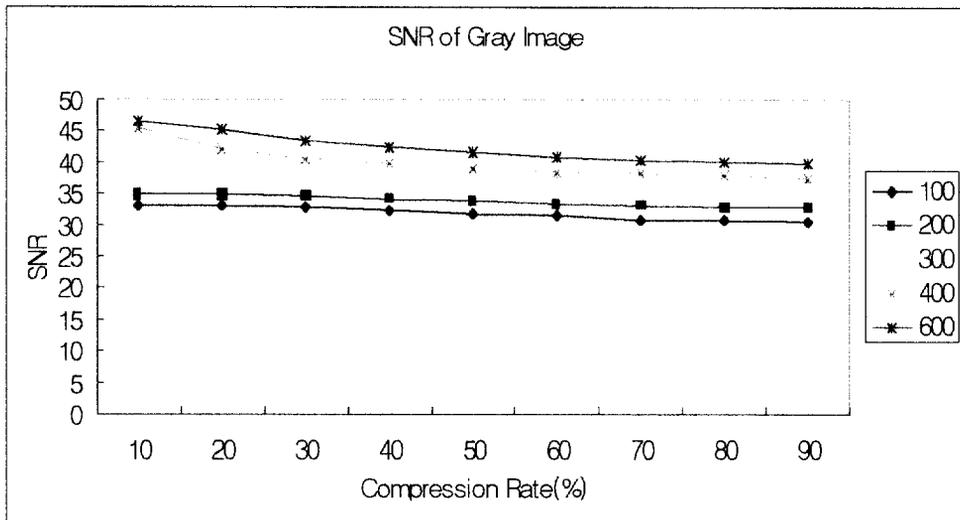


Fig. 13. Comparison of SNR between original gray image and Wavelet transformation gray images according to compression rate.

4-5. 압축률에 따른 이미지의 용량 평가

샘플 이미지의 압축률에 따른 이미지 용량변화를 평가한 결과 Fig. 10, 11과 같이 나타났다. Fig. 14인 컬러 이미지의 경우, 고해상도일수록 상대적으로 저해상도 이미지보다 압축효율이 우수하였다. 특히 압축률이 10%일 때 가장 효율이 높았으며 20%이상에서는 용량 변화가 적었다. 또한 Fig. 15 인 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 차 연산에 의한 방법을 도입하였다. 이 방법은 원 이미지에 압축된 이미지를 각각 빼 후 남은 값을 이미지로 나타낸 것이다. 해상도가 다른 각각의 컬러 이미지와 흑백 이미지를 Wavelet 방식으로 압축하여 원 이미지와 압축한 이미지의 차이를 시각적으로 판단하기 위해 차 연산을 조사한 결과는 Fig. 16, 17, 18 19, 20, 21과 같다.

차 연산에 의한 평가 방법은 이미지의 윤곽이 선명하게 나타날수록 원 이미지와 압축한 이미지 사이에 차이가 많은 것으로 즉, 이것은 이미지의 손실이 많음을 뜻한다. Fig. 12, 14 그림을 보면 해상도가 낮은 칼라 100ppi, 200ppi의 경우인 컬러 이미지나 Fig. 13, 15인 흑백 이미지 모두 압축률에 따라 이미지 차이가 많이 나타났다. 그러나 고 해상도 이미지인 Fig. 20, 21 그 이상의 이미지를 보면 특히, 400ppi 이상의 이미지에서는 칼라 이미지나, 흑백 이미지 모두 이미지의 손실이나 차이를 거의

느낄 수가 없었다. 이 결과로 알 수 있듯이, Wavelet 압축 방식은 무 손실 압축에 거의 가까우면서 기존의 압축 방식보다도 최대 신호 잡음비나 시각적인 측면 모두에서도 월등히 뛰어난 성능을 보였다.

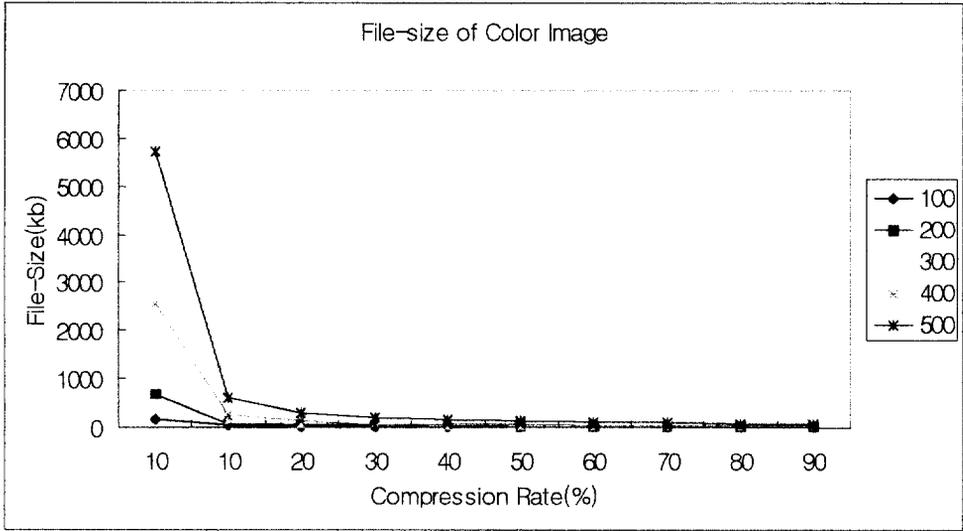


Fig. 14. Comparison of file size between original color image and Wavelet transformation color image according to compression rate.

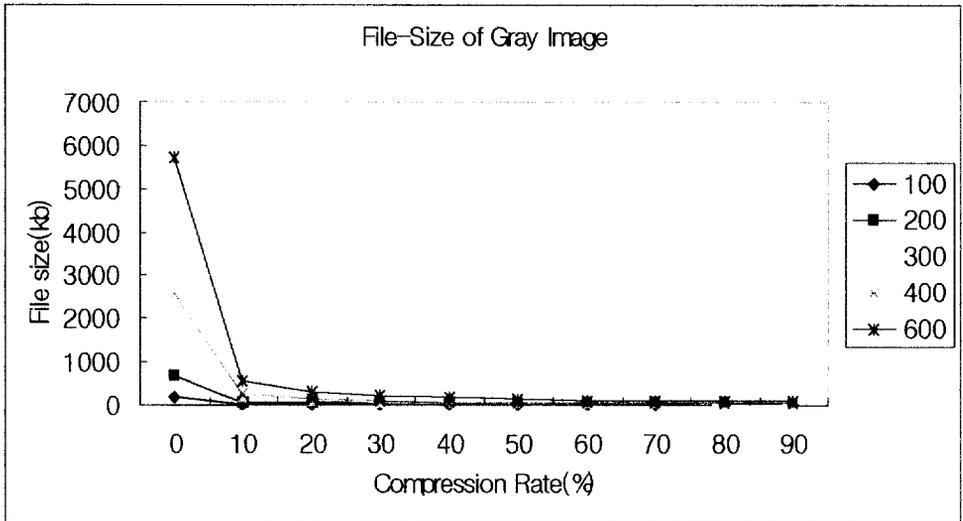


Fig. 15. Comparison of file size between original gray image and Wavelet transformation gray image according to compression rate.

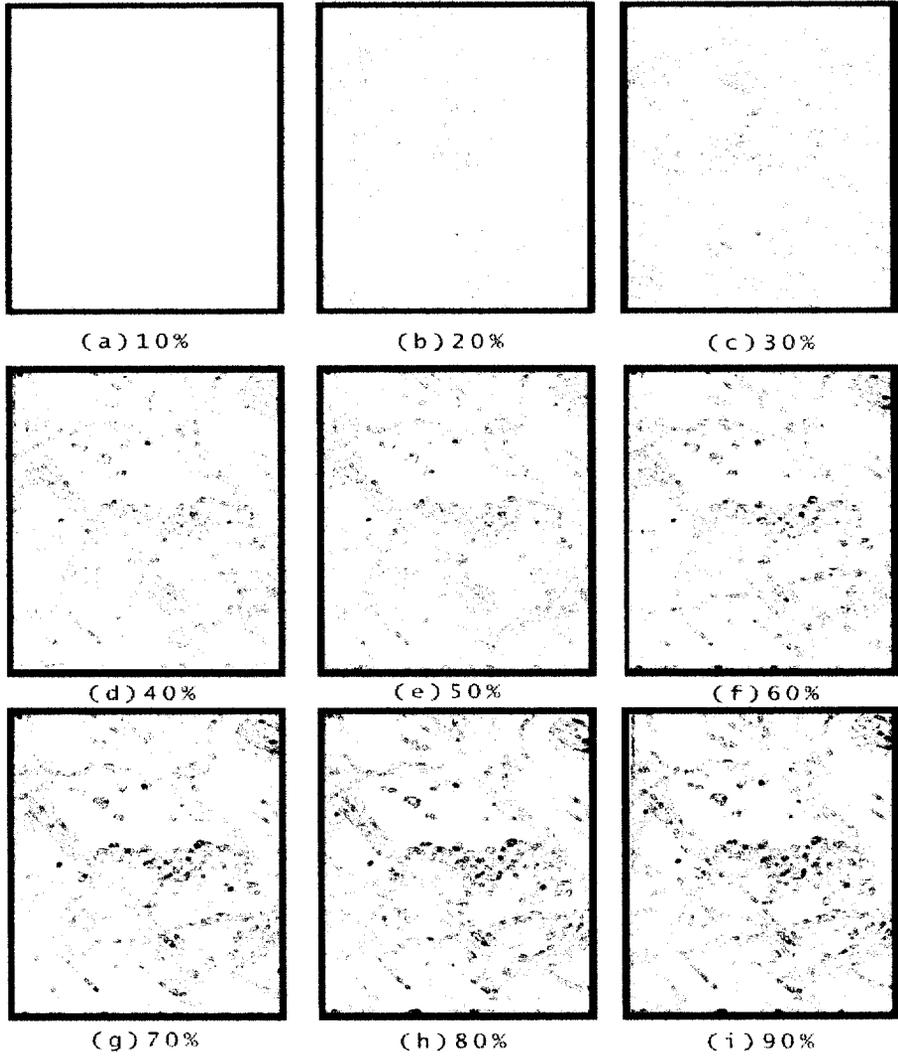


Fig. 16. Vision estimation that color image according to Difference Operation in 100 ppi.

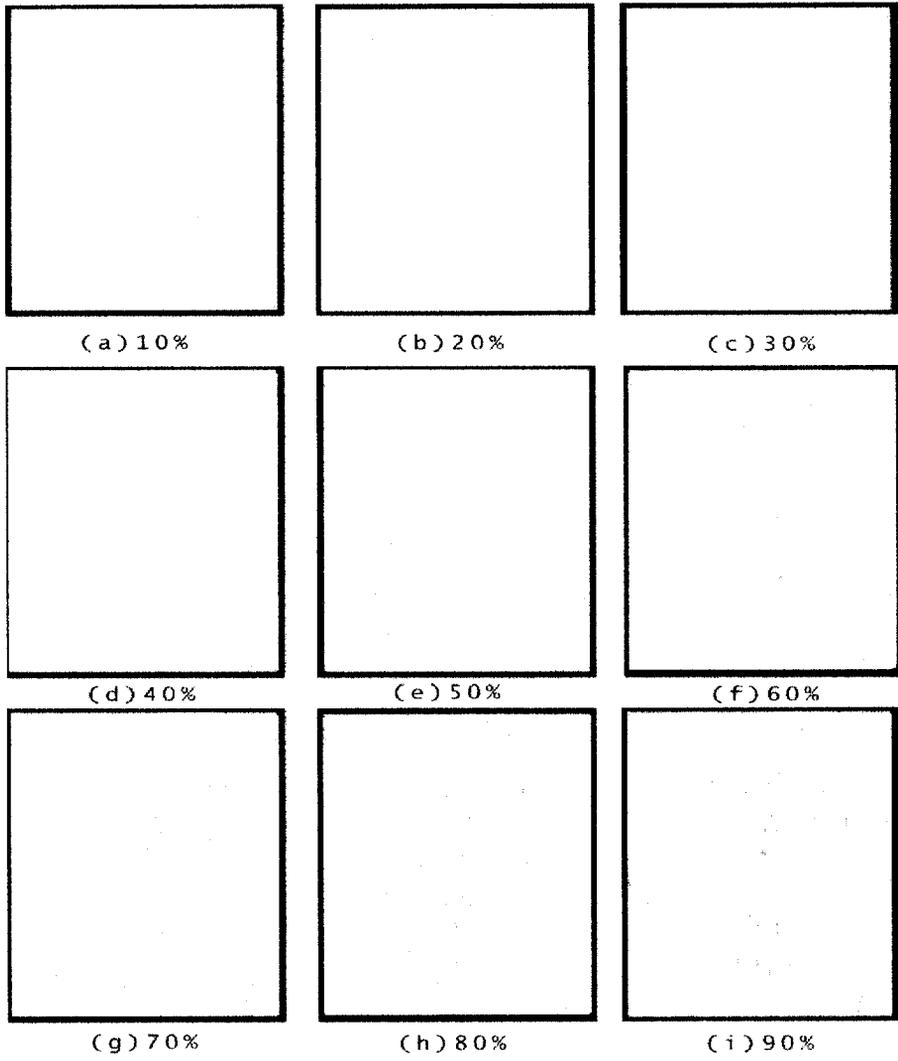


Fig. 17. Vision estimation that gray image according to Difference Operation in 100 ppi.

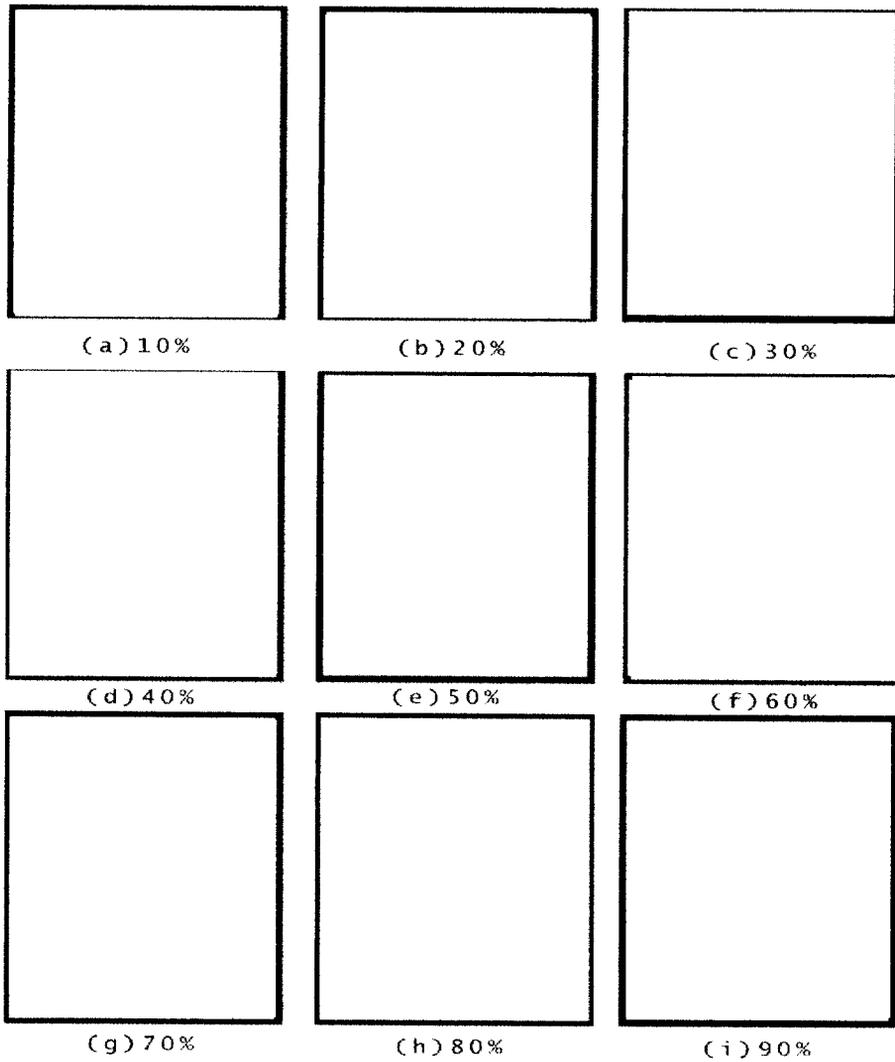


Fig. 18. Vision estimation that color image according to Difference Operation in 200 ppi.

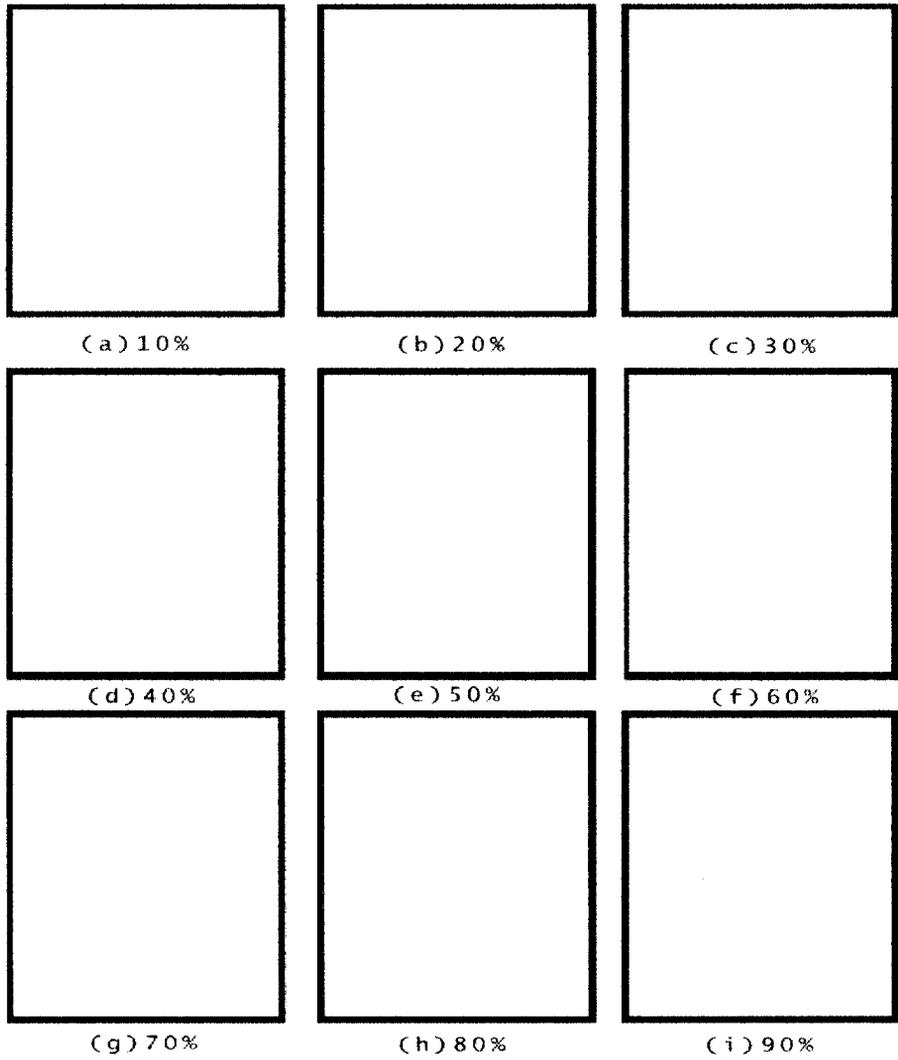


Fig. 19. Vision estimation that gray image according to Difference Operation in 200 ppi.

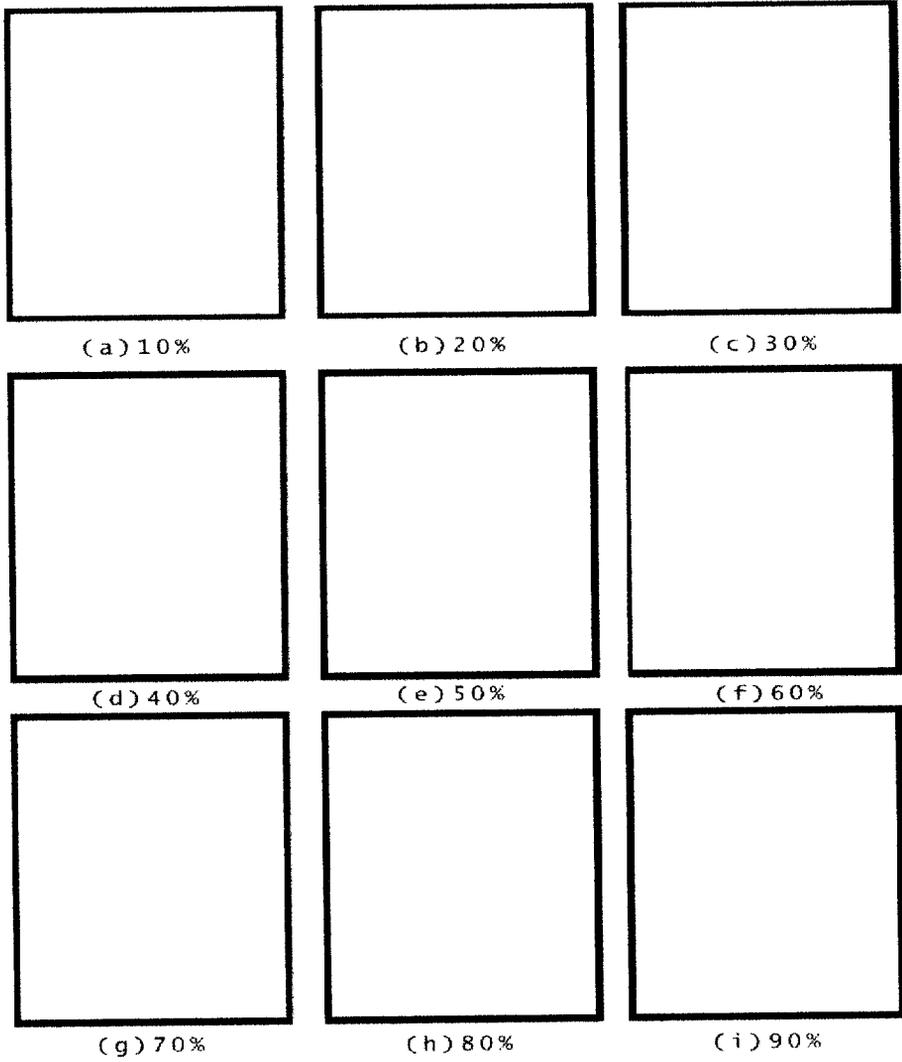


Fig. 20. Vision estimation that color image according to Difference Operation in 300 ppi.

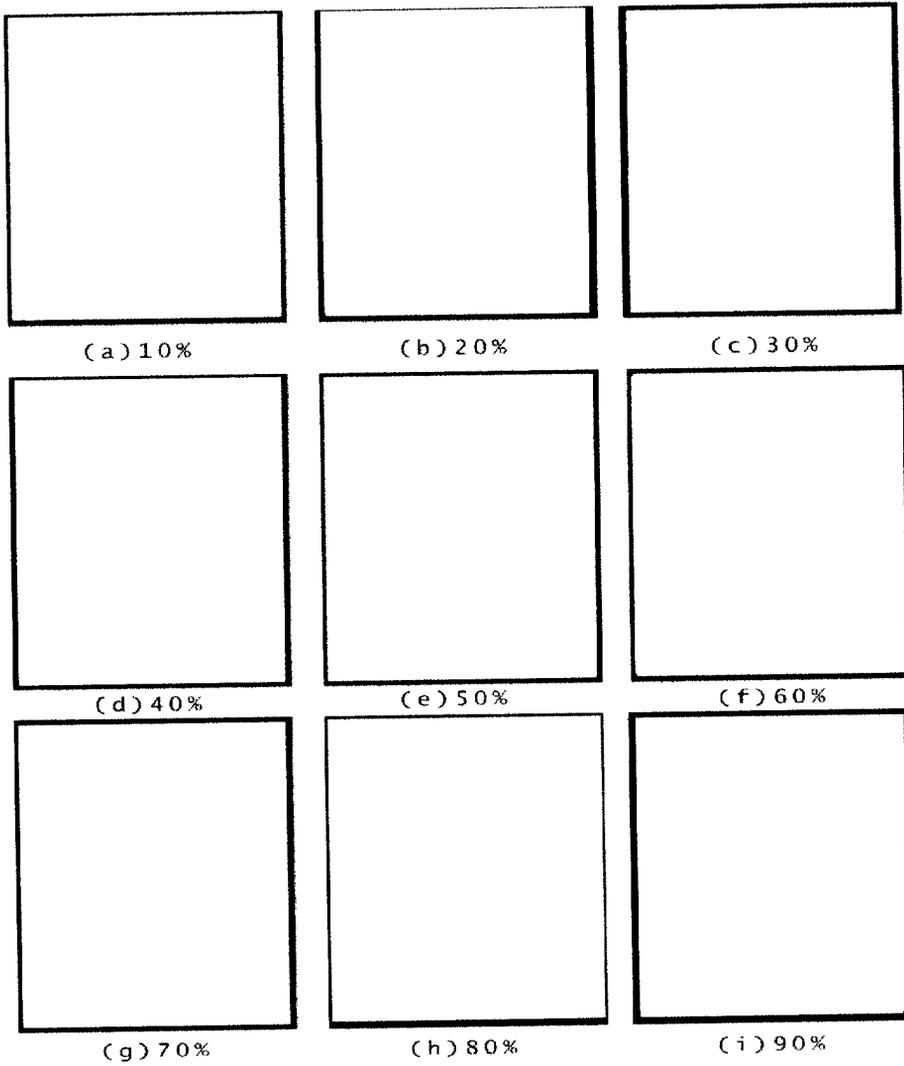


Fig. 21. Vision estimation that gray image according to Difference Operation in 300 ppi.

4-6. 인쇄물의 주관적인 평가

원 이미지와 압축되어진 컬러 이미지 중에 해상도가 100ppi, 200ppi, 300ppi인 샘플 이미지를 10개 선택해서 필름으로 출력하여 Match Print로 교정 인쇄를 하였다.

정해진 원 이미지와 샘플 이미지를 표준 광원 D₅₀에서 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. 또한 Table 3은 시각적으로 판단한 결과를 나타내는 것이다. 300ppi에서 50%까지 압축을 한 이미지를 원 이미지와 다르다고 판단한 사람은 1명이다. 이것은 확률적으로 95%의 확률을 가지므로 충분히 실용상이 있다고 사료된다. 또한 인간의 시각은 높은 대역에 존재하는 양자화 오차는 낮은 주파수 대역의 양자화 보다 인식하지 못하지만 엣지(edge)부분에서는 민감하게 반응을 한다. Wavelet은 낮은 주파수의 범위를 많이 압축을 시키지만 이미지의 경계 부분, 즉 엣지 부분에서는 크게 압축을 시키지 않으므로 시각적으로 판단하기가 힘든 것으로 사료된다. 따라서, 300ppi 이상의 해상도를 가진 이미지를 Wavelet 변환을 할 경우, 이미지의 재현 효율이 매우 우수한 것을 알 수 있다.

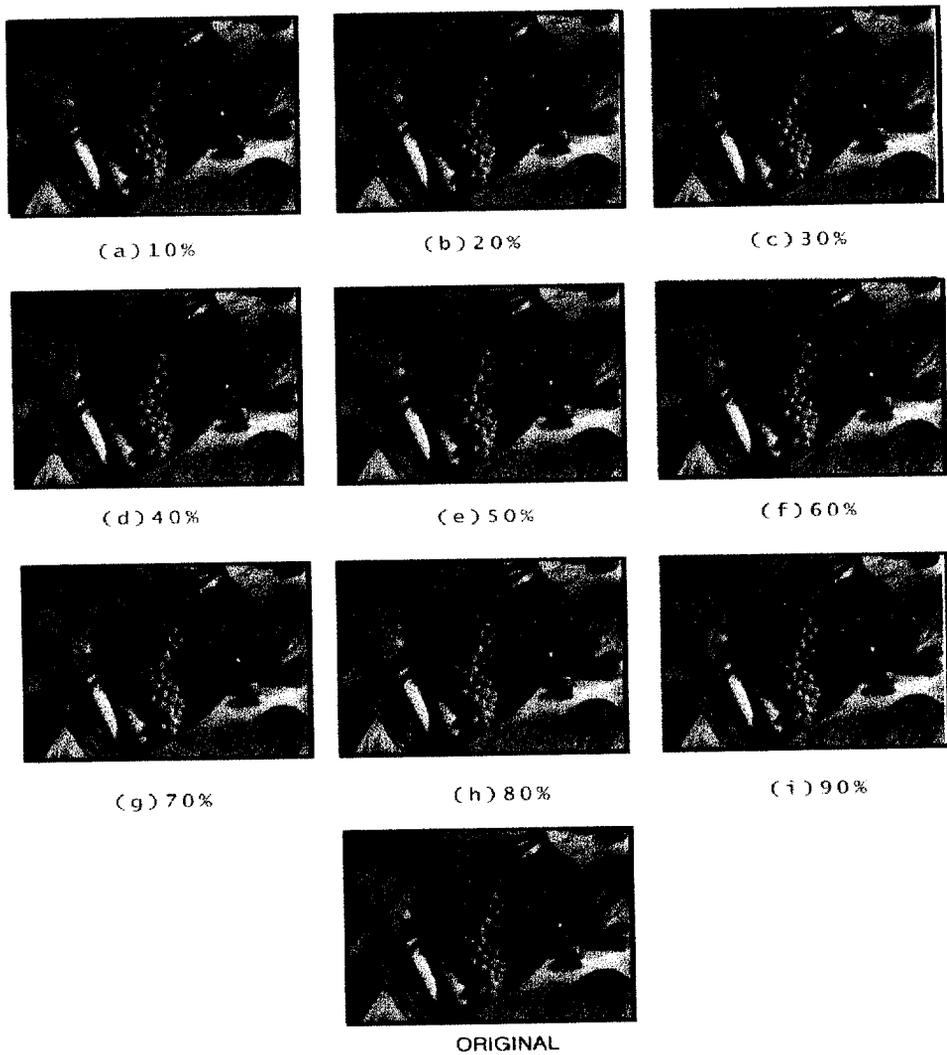


Fig. 22. Printing quality transformation of image according to compression rate of print.

Table 3. Result of subjective estimation for print

Compression(%)	Resolution(ppi)		
	100	200	300
10	10	10	10
20	8	9	10
30	3	8	10
40	1	7	10
50	0	4	9
60	0	1	8
70	0	0	3
80	0	0	0
90	0	0	0

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 함수를 구역의 끝에서 감쇠시키면서 겹치게 함으로서 구획의 왜곡을 줄이며, 고주파에서는 구획의 크기를 작게 함으로써 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. 용량에 의한 평가에서는 낮은 압축률로 충분하게 용량을 줄이면서도 이미지 손실이 적음을 알 수가 있었다
5. 차 연산에 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

300ppi이상의 고품질 이미지에서 손상을 최소한으로 줄이면서 압축률을 50%이상 처리할 수 있어, 고품질의 인쇄물에서도 유용하게 사용될 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, “Wavelet을 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. 김정일, 안광태, 김재철, 유충렬, 이광배, 김현욱, “Wavelet 변환을 이용한 점진적 영상 부호화”, *한국정보처리학회* Vol. 4, No. 10. (1997).
9. 최정희, 김송주, 김영민, “JPEG2000 정지화상 압축 및 복원기술 개발에 관한 연구”, *전자통신기술논문지*, Vol. 2, No. 1. (1999).
10. 송영철, 안창범, “향상된 정수 기반 Wavelet 변환을 이용한 무손실에 가까운 영상압축”, *Journal of Korean Society for Imaging Science*, Vol. 3, No. 1.

(1997).

11. Yong-Joon Cha, Young-Sung Soh, "Line-based Image Stabilization", KISPS Summer Conference 2001, Vol. 2, No. 1. (2001).
12. 윤종태. "Introduction to Printability". 부경대학교, pp 18~21 (1998).