

# 히스토그램 보정을 이용한 고신뢰성 영상 인증 기법

김 호 철<sup>†</sup>

## 요 약

영상 인증 알고리즘은 군사, 의료 분야 및 스캔된 증빙 문서, 계약서 등 민감한 분야에서 필요하며 원본에 대한 위조 여부를 증명하여야 한다. 인증 분야에서는 지각적 비가시성과 연성이 필요하다. 워터마크의 용량은 클수록 좋으며, 워터마크된 영상만으로 워터마크 추출이 가능한 블라인드 워터마킹은 구현이 어렵지만 가장 바람직하다. 또한 워터마크 추출 과정에서 거짓 긍정과 거짓 부정의 오류가 발생하지 않는 신뢰성은 필수적이다. 이 연구에서는 DCT의 고주파 영역에 계수를 조정하여 워터마크를 삽입하며, 신뢰성을 높이기 위하여 필요하다면 원본 영상의 명도 히스토그램을 보정하는 방법을 사용한다. 실험 결과에서는 제안한 알고리즘이 높은 PSNR 값에 의한 지각적 비가시성, 연성, 블라인드 특성을 만족시키며, 스테가노그래피 응용에 적용 가능할 정도로 큰 워터마크의 용량과 히스토그램의 보정에 의한 신뢰성을 가진 것으로 나타났다.

## The High-Reliable Image Authentication Technique using Histogram Compensation

Hyo-Chul Kim<sup>†</sup>

## ABSTRACT

Image authentication algorithms have to discriminate forged contents in the various critical fields of military, medical services, digital documents. They must ensure perceptual invisibility and fragility against malicious attacks. It is desirable that watermarking algorithms support sufficient insertion capacity and blind feature. And, high reliable algorithms that can eliminate false-positive and false-negative errors are needed in the watermark extraction process. In this paper, we control coefficients of high frequency band in a DCT domain and compensate brightness histogram for high reliability. As a result, we found that the proposed algorithm guarantee various requirements such as perceptual invisibility with high PSNR values, fragility, high reliability and blind feature. In addition, experiment results show that the proposed algorithm can be used steganographic applications by sufficient capacity of watermark.

**Key words:** Image Authentication(영상 인증), Watermark(워터마크), Histogram

## 1. 서 론

워터마킹 알고리즘의 요구조건으로는 지각적 비가시성(invisibility), 강인성(robustness), 신뢰성(reliability), 용량(capacity), 원본 없이 추출(blindness) 등이 있다. 영상 인증(image authentica-

tion) 알고리즘은 군사, 의료 분야 및 스캔된 증빙 문서, 계약서 등 민감한 분야에서 필요하며 원본에 대한 위조 사실이 없음을 증명하여야 한다. 인증 분야에서는 워터마크의 삽입 흔적을 인식할 수 없는 비가시성과 미세한 공격에도 손상이 되는 연성(fragile)이 필요하며, 악의적인 공격이 아닌 압축이

※ 교신저자(Corresponding Author): 김호철, 주소: 대구광역시 달서구 달서대로 669 계명문화대학 컴퓨터학부(윌터관 1421호), 전화: 053-589-7538, 017-507-4201 FAX: 053-589-7567, E-mail: khc@kmcu.ac.kr

접수일: 2009년 10월 28일, 수정일: 2009년 12월 30일  
완료일: 2010년 4월 1일

<sup>†</sup> 계명문화대학 컴퓨터학부 교수

나 저장 형태의 변환과 같은 자연스런 영상처리 과정을 견딜 수 있을 정도의 반연성(semi-fragile)을 가지면 좋다[1]. 워터마크 추출 과정에서 거짓 긍정(false positive)과 거짓 부정(false negative)의 전형적인 오류가 발생하지 않는 신뢰성은 필수적이며, 원본 영상을 크게 훼손하지 않는 범위 내에서 워터마크의 용량은 클수록 좋다. 또한 원본 영상과 원본 워터마크 없이 워터마크된 영상만으로 워터마크 추출이 가능한 블라인드 워터마킹은 구현이 어렵지만 가장 바람직하다. 비가시성은 PSNR(peak signal to noise ratio)로 측정되며 워터마크의 용량과는 상호 절충(trade off) 관계에 있다. PSNR은 로그 단위로 산출되며, 영상 간의 평균제곱오차(MSE : mean squared error)의 비율에 의해 결정되는데 원본영상과 워터마크된 영상 간의 화질의 변화를 측정하는 용도로 널리 사용된다. 일반적으로 PSNR이 30dB 이상이면 인간의 시각으로는 영상 간의 차이를 판별할 수 없다. 영상 변환에는 DCT와 같은 주파수 변환, 웨이블릿(wavelet) 변환, 왈시(Walsh) 변환, 호텔링(Hotelling) 변환, 하다마드(Hadamard) 변환, 호그(Hough) 변환 등이 있다[2-6]. DCT에서는 연속된 화소 값의 변화율을 주파수로 표현하며, 화소의 중복성이 크거나 변화가 완만한 저주파 영상은 경계 부분이 적게 나타나는 부드러운 영상이며, 경계 부분이 많이 나타나는 날카로운 영상은 고주파로 표현된다. DCT는 불규칙적으로 분포하는 화소들의 값을 고주파 영역과 저주파 영역으로 분리하며, 행렬 형태의 결과에서 최 좌측 상단에는 DC 계수, 나머지 위치에는 AC 계수들이 배치된다. DC 계수는 실제 공간 영역의 평균 명도 값이고, 영상의 에너지가 좌측 상단 부근의 저주파 영역에 집중되므로 고주파 영역의 계수들을 제거하기가 쉬워 압축률이 높아지게 된다.

## 2. 알고리즘의 특징

### 2.1 삽입대역의 선택

비가시성과 연성은 인증을 위한 워터마크의 중요 요구조건들로 이의 충족을 위해서는 고주파 영역에 워터마크를 삽입하여야 한다. 인간 시각 시스템(HVS : human visual system)에 따르면 마스킹 효과(masking effect) 때문에 고주파 성분이 많은 복잡한 영상들의 변화를 잘 인식하지 못하며, 고주파 영

역의 계수는 작은 공격에도 손상을 입을 만큼 민감하기 때문이다[1]. 그림 1은 여러 주파수 대역에 워터마크를 삽입한 결과이다. 여기에서  $O$ 는 원본 영상,  $W$ 는 워터마크,  $O_w$ 는 워터마크된 영상을 의미하며, 저주파 대역에 워터마크를 삽입한 영상의 심한 왜곡 정도를 관찰할 수 있다. 원본 영상  $O$ 는  $N \times N$  화소를 가지는데,  $L$ 은 각 화소의 깊이(depth)이다. 워터마크  $W$ 로는  $(N/8) \times (N/8)$  이진 영상을 사용하였고, 양극성(bipolar)으로 처리하였다.

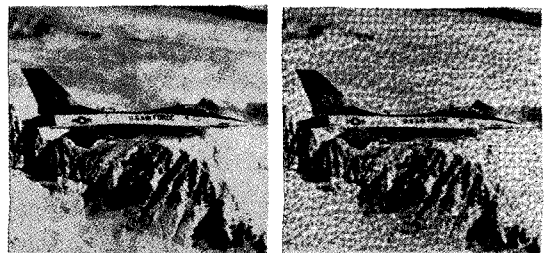
$$O = \{pxl(i, j), 0 \leq i, j < N\}, \\ pxl(i, j) \in 0, 1, \dots, 2^L - 1$$

$$W = \{w(i), 0 \leq i < N^2/64\}, w(i) \in -1, 1$$

이 연구에서는  $O$ 를  $8 \times 8$  크기의 블록들로 나누어 DCT를 거친 계수들 중에서 최고주파 영역에 속하는 5개의 위치(59, 60, 61, 62, 63번째)에 워터마크를 삽입한다. 이 중 한 곳에 워터마크 극성판별을 위한 기준 값을 저장하고 나머지 위치에 4비트의 워터마크를 삽입한다.

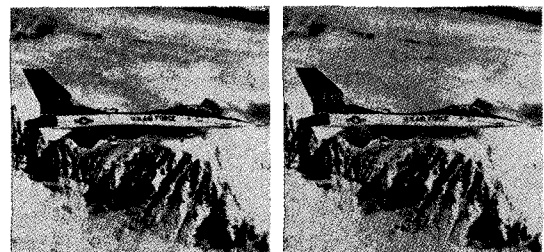
### 2.2 명도 히스토그램의 보정

선택된 위치에 대한 워터마크 삽입 실험에서 스캔



(a) airplane  $O$

(b)  $O_w$  : 저주파 대역 (1~5 영역)



(c)  $O_w$  : 중간주파 대역 (29~33 영역)

(d)  $O_w$  : 고주파 대역 (29~33 영역)

그림 1. 여러 주파수 대역에 워터마크 삽입

된 문서와 같은 명도 차가 극단적인 화소들로 구성된 영상들에서 그림 2, 그림 3과 같은 화질 저하와 워터마크 추출 오류가 확인되었다. 이런 현상은 대비(contrast)가 큰 영상의 DCT 계수 값을 변경하는 과정에 빈번하게 발생한다. 이러한 오류들을 제거하기 위하여 영상의 명도 히스토그램을 구하고 아래와 같이 전체적인 히스토그램 경향은 유지하면서 극단적인 명도를 가지는 화소들의 명도를 줄이는 방법을 사용하였다.

$$high_{cr} = high_{mx} - \beta$$

$$high_{ci} = \begin{cases} high_{oi} & \text{when, } high_{oi} \leq high_{cr} \\ high_{cr} & \text{otherwise, } high_{oi} > high_{cr} \end{cases}$$

$$low_{cr} = low_{mn} + \beta$$

$$low_{ci} = \begin{cases} low_{oi} & \text{when, } low_{oi} \geq low_{cr} \\ low_{cr} & \text{otherwise, } low_{oi} < low_{cr} \end{cases}$$

$$pxl_{ci} = pxl_{oi} \times \frac{high_{ci} - low_{ci}}{high_{mx} - low_{mn}} + \beta \quad (1)$$

$low_{cr}$ 과  $high_{cr}$ 은 최소 및 최대 명도 임계값(critical value)이며,  $low_{oi}$ 와  $high_{oi}$ 는 원본 영상  $O$ 의 최소와 최대 명도값,  $low_{ci}$ 와  $high_{ci}$ 는 보정된 영상  $O'$ 의 최소와 최대 명도 값이다.  $low_{mn}$ 과  $high_{mx}$ 는 가능한 최소와 최대 명도값을 나타내며,  $\beta$ 는 실험에



그림 2. "fingerprint"  $O$ 와  $O_w$  (PSNR=12)

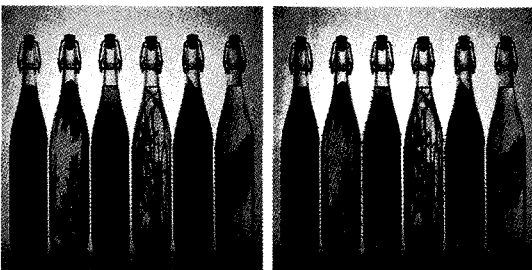
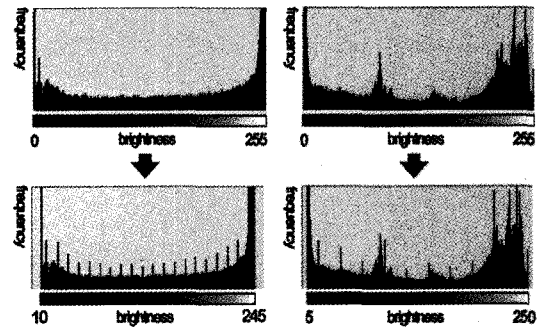


그림 3. "bottles"  $O$ 와  $O_w$  (PSNR=25.2)

의한 보정 값이다.  $\beta$ 가 커지면 PSNR이 악화되고 작아지면 오류 가능성이 높아지는데, 수식 (1)에서와 같이  $O'$ 의 화소 값  $pxl_{ci}$ 는  $O$ 의 화소 값  $pxl_{oi}$ 를 보정하여 얻는다. 그림 4는 보정 전과 후의 히스토그램이다. 이러한 히스토그램 보정은 화소들의 변화율을 완화시키고 워터마크 삽입을 위한 고주파 계수들의 조작 결과를 축소시킨다. 그림 5, 그림 6은 보정된 영상  $O'$ 와 워터마크된 보정 영상  $O'_w$ 를 보인 것이며, 높은 PSNR 값이 나타내듯 영상간의 차이를 인식할 수 없다.



(a) "fingerprint" 보정 (b) "bottles" 보정

그림 4. 명도 히스토그램의 보정

### 2.3 워터마크 삽입 블록의 선택

$O$ 를 순차적으로 분할하여  $8 \times 8$  크기의 블록들로 나누고, 전체 블록 중에서 최고주파 영역 5개 계수들의 편차가 작은 블록들을 워터마크 삽입을 위하여 선택한다.  $C_x$ 는 임의의 블록  $x$ 에 포함된 5개 계수들을 저장한 배열이고,  $diff_x$ 는 블록  $x$ 에 대한 계수들의 편차이다.

$$diff_x = \max(C_x) - \min(C_x)$$



그림 5. "fingerprint"  $O'$  ( $\beta=10$ )와  $O'_w$  : PSNR=37.2

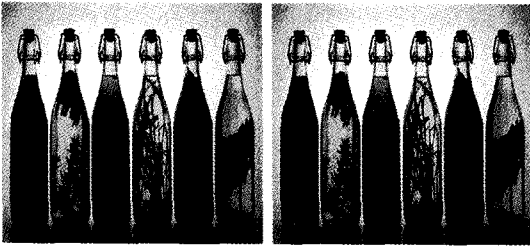


그림 6. "bottles"  $O'(\beta=5)$ 와  $O'_w$  : PSNR=49.1

그림 7은 복잡도가 상이한 영상 baboon(=mandrill)과 airplane의 블록 편차 히스토그램이다. 전체적으로 편차가 작은 블록들의 수가 많으며, baboon과 같이 복잡한 영상일수록 편평도가 낮다. 여기에서는 계수의 조정에 따른 영상의 변화를 최소화하기 위하여  $diff_s$ 가 전체 블록들의 편차 평균  $\delta$ 보다 작은 블록  $s$ 들만을 선택하여 워터마크를 삽입한다[7].

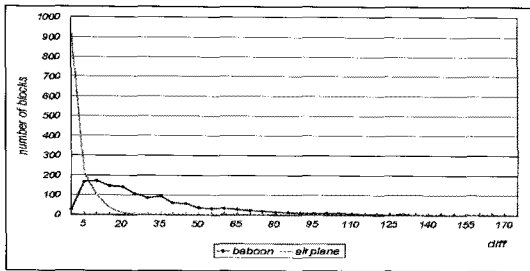


그림 7. 복잡도가 다른 영상의 블록 편차 히스토그램

### 2.4 블라인드 특성을 위한 계수 조정

블라인드 워터마크를 위해서는 워터마크를 삽입한 블록들이 워터마크 추출 시에도 워터마크된 영상  $O_w$ 만으로 정확하게 다시 선택되어야 한다. 추출 과정에서 블록 선택 오류를 피하기 위해  $diff_{ns}$ 가  $\delta$ 에 근접한( $diff_{ns} - \delta$  값이  $\delta/3$ 보다 작은) 선택되지 못한(not selected) 블록  $ns$ 들에 대하여 그림 8과 같이  $diff_{ns}$ 가  $\delta$ 와 확연히 구분될 수 있도록 계수 조정을 하여  $\delta$ 의 우측에 격리시킨다. 편차가  $\delta$ 에 근접한 선택된(selected) 블록  $s$ 들의  $diff_s$ 는 3장의 내용과 같이 워터마크 삽입에 따라 자동으로  $\delta$ 에 대하여 좌측으로 격리된다.

### 3. 워터마크 삽입 및 추출

워터마크의 보호와 공격자의 추측을 피하기 위해

서 비밀 키와 함께 DES 알고리즘을 이용하고, 하나의 비밀 키를 워터마크에 반복 적용하여 암호화된 비트 스트림을 얻어서 워터마크로 사용한다[8]. 워터마크 삽입 과정에서는 선택된 블록  $s$ 에 대해 5개 계수들의 평균값  $avg_s$ 를 59번 위치에 삽입하고, 나머지 4개 영역에는 양극성 워터마크 비트 값  $-1$  혹은  $1$ 에  $diff_s/3$ 을 곱한 값을  $avg_s$ 에 더하여 60, 61, 62, 63번 위치에 차례로 삽입한다. 아래의 식에서  $w(f)$ 는 현재 블록에 삽입될 첫 번째 워터마크 비트이다.

$$C_s(0) = avg_s$$

$$C_s(i) = avg_s + w(f+j) \times (diff_s/3),$$

where,  $1 \leq i < 5, 0 \leq j < 4$

계수 조정에서  $diff_s$ 에 의존적인 값을 사용하는 것이  $\delta$ 에 의존적인 값을 사용하는 것보다 계수들의 변화가 작다. 이와 같은 워터마크 삽입과정이 완료되면  $O'$ 의 블록 편차 히스토그램은 그림 8과 같이 변경된다. 블라인드 워터마킹에서는 추출 과정에서  $O_w$ 만을 사용하며,  $O_w$  전체 블록들의 편차 평균인  $\delta_w$ 는  $\delta$ 와 상이한 값이 된다. 따라서 워터마크가 삽입된 블록들을 선택할 때  $O_w$ 에 존재하는 편차 히스토그램의 경향성만으로 워터마크가 삽입된 블록들과 그렇지 않은 블록들의 경계를 구분해야 한다. 워터마크 추출은 다음의 식과 같이 하나의 블록에서 4비트의 워터마크를 추출한다.  $w'(1)$ 은 현재 추출 완료된 마지막 워터마크 비트이다.

$$w'(l+i) = \text{sign}[C'_s(i) - C_s(0)],$$

where,  $1 \leq i < 5$

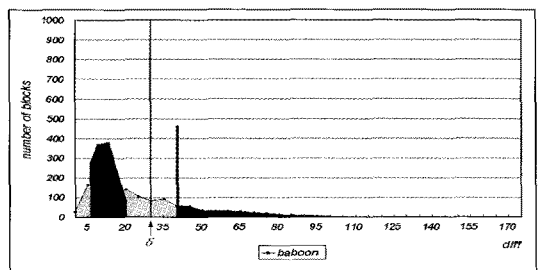


그림 8.  $O_w$ 의 블록 편차 히스토그램

### 4. 실험 결과

실험에서는  $288 \times 288$  크기의 256-level 그레이 영상을, 워터마크로는  $64 \times 64$  크기의 이진 영상을 사용

하였다. 그림 9에서 (a)는 원본 영상  $O$ 이며 (i)의 원본 워터마크  $W$ 를 삽입하여 (b)의 워터마크된 영상  $O_w$ 를 생성한다. 이 때 실제 워터마크가 삽입된 블록의 수는 815개이며, 두 영상간의 PSNR은 42.9이므로 비가시성을 충분히 만족시킨다.  $O_w$ 에서 추출한 워터마크  $W'$ 는 (ii)와 같이 용량 문제는 존재하지만 원본 워터마크가 동일한 형태로 보존되고 있음을 확인하였다. 연성에 대한 실험으로  $O_w$ 의 영상일부를 위조하여 위조된 영상  $fO_w$ 를 만들고 여기에서 워터마크  $fW'$ 를 추출해 보았더니, (iii)과 같이 워터마크의 흔적은 존재하지만 원형이 파괴된 상태로 나타났다. 그림 10, 그림 11도 제한한 워터마크 알고리즘의 적용 결과들이며, 비가시성과 연성에 대해 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 표 1에 나타난 것처럼 제한한 알고리즘의 PSNR 값은 비가시성을 만족시킨다 [1-4]. baboon과 cameraman에서는 원본 영상  $O$ 의 히스토그램에서  $\beta$ 를 5만큼 보정한  $O'$ 의 실험결과를 포함하였다. 보정 전의  $O$ 와  $O_w$ 간의 PSNR 자체는 나쁘지 않지만, 그림 3과 같은 화질의 열화가 미세하게 나타나거나 워터마크 추출 오류가 발생했기 때문에 히스토그램 보정을 하였다.  $O'$ 와  $O'_w$ 간의 PSNR은 예상대로 높게 나타났으며,  $O$ 와  $O'_w$ 간의

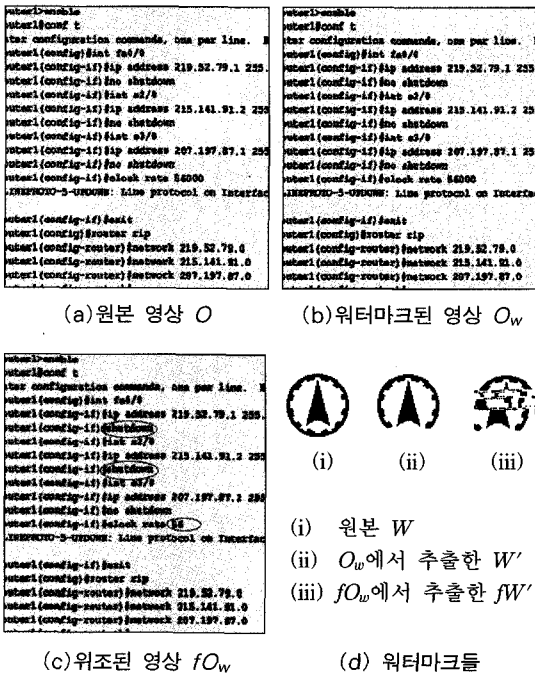
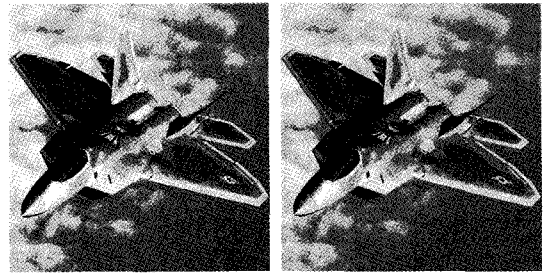
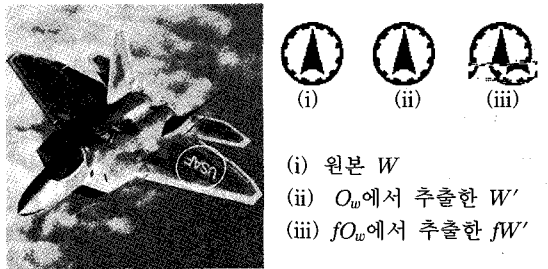


그림 9. 실험 1(삽입 블록 수=815/PSNR=42.9)

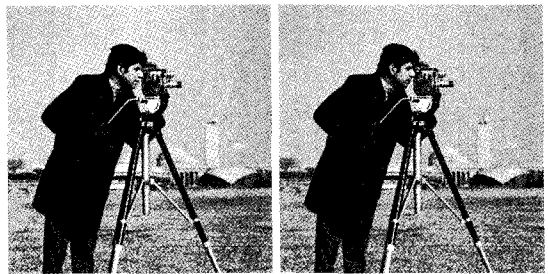


(a) 원본 영상  $O$       (b) 워터마크된 영상  $O_w$

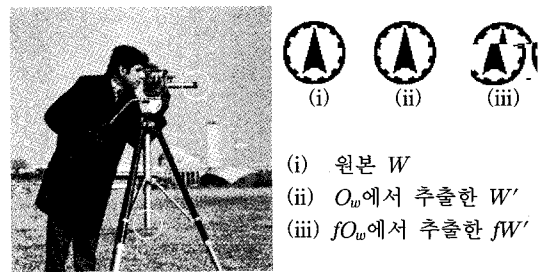


(c) 위조된 영상  $fO_w$       (d) 워터마크들

그림 10. 실험 2(삽입 블록 수=1,020/PSNR=51.0)



(a) 원본 영상  $O$       (b) 워터마크된 영상  $O_w$



(c) 위조된 영상  $fO_w$       (d) 워터마크들

그림 11. 에 3(삽입 블록 수=951/PSNR=50.2/ $\beta=5$ )

PSNR도 만족할 만한 수준이었다. lena 영상은 그림 12와 같은 히스토그램 분포를 보이는데, 좌우측에 근접한 극단적 명도의 화소들이 없으므로 히스토그

표 1. 알고리즘들의 PSNR (dB)

image \ algo.	Bruyn-donckx	Cox	Koch	Xie	실험 결과		
					$O \& O_b$	$O' \& O'_b$	$O \& O'_b$
lenna	42.92	38.60	47.92	38.52	50.20	-	-
baboon	36.79	32.05	45.53	41.33	35.40	36.84	36.17
cameraman	41.66	36.52	41.77	39.16	41.88	50.94	41.10

표 2. 알고리즘들의 워터마크 용량 (bit)

image \ algo.	Bruyn-donckx	Cox	Koch	Xie	실험 결과	
					$O$	$O'$
lenna	896	-	178	315	3,720	-
baboon	869	-	184	320	3,212	3,204
cameraman	180	-	110	70	3,776	3,804

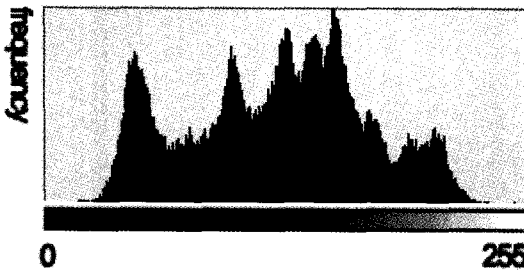


그림 12. "lenna" 영상의 명도 히스토그램

램 보정이 필요 없다. 표 2의 결과는 제안한 알고리즘이 워터마킹은 물론 큰 용량이 필요한 스테가노그래피(steganography) 응용에의 적용 가능성을 보여준다[1-4,9].

### 6. 결 론

이 연구에서 제안한 알고리즘은 비가시성과 연성을 위하여 DCT의 고주파 영역에서 계수를 조정하며, 블라인드 특성을 가진다. 또한 화질 저하와 워터마크 추출 오류를 제거하기 위하여, 영상의 명도 히스토그램에서 전체적 경향은 유지하면서 극단적인 명도를 가지는 화소들의 명도를 줄이는 보정 방법을 사용하였다. 결과적으로 대비가 큰 영상에서도 신뢰할 만한 성능을 도출하였다. 실험 결과들에서 이 알고리즘이 영상 인증을 위한 워터마크의 요구조건인 특성까지 갖추고 있음을 증명하였다. 아울러 워터마

크 용량 면에서도 스테가노그래피 응용에의 적용 가능성을 보여주었다. 압축 등과 같은 기본적 연산은 수용할 정도의 반연성을 위해서는 DCT의 중간주파 영역에 워터마크를 삽입하고, 기하학적(geometric) 변형 등 악의적 공격에 강건한 워터마크를 위해서는 저주파 영역을 이용하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 추후에는 이 연구 결과를 바탕으로 강인성과 암호화 기법들을 고려하여 동영상의 저작권 보호 응용에 비가시성과 연성을 만족시키며, 신뢰성 및 블라인드적 용할 수 있는 DRM(Digital Rights Management) 과 3D SIS(3 Dimensional Steganographic Image Scrambling) 기술을 연구할 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] E. Koch and J. Zhao, "Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling," Proc. IEEE Nonlinear Signal and Image Processing, pp. 452-455, June 1995.  
 [2] I. J. Cox, J. Killian, T. Leighton, and T. Shamoon, "A Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol.6, No.12, pp. 1673-1687, December 1997.  
 [3] L. Xie and G. R. Arce, "Joint Wavelet Compression and Authentication Watermarking," Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing, ICIP '98, Chicago, pp. 427-431, 1998.

- [4] O. Bruyndonckx, J. J. Quisquater, and B. Macq, "Spatial method for Copyright Labeling of Digital Images," Proc. of IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, Neos Marmaras, pp. 456-459, June 1995.
- [5] Paul Bao and Xiaohu Ma, "Image Adaptive Watermarking Using Wavelet Domain Singular Value Decomposition," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.15, No.1, pp. 96-102, Jan. 2005.
- [6] Zhicheng Ni, YunQing Shi, Nirwan Ansari, and Wei Su, "Reversible Data Hiding," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.16, No.3, March 2006.
- [7] 김효철, 김현철, 유기영, "무효 블록의 격리를 이용한 새로운 이미지 인증 방법," 정보과학회논문지-컴퓨팅의 실제, 제8권, 제1호, pp. 17-24, 2002. 2.
- [8] J. S. Coron, "What Is Cryptography?," *IEEE Security & Privacy Magazine*, Vol.4, pp. 70-73, Jan. 2006.
- [9] H. W. Tseng and C. C. Chang, "Steganography Using JPEG Compressed Images," The Fourth International Conf. on Computer and Information Technology, pp.12-17, 2004.



김 효 철

1987년 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
1989년 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
2002년 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)  
1989년~1996년 국방과학연구소 (ADD) 근무

1996년~현재 계명문화대학 컴퓨터학부 교수  
관심분야: 멀티미디어 보안, 3D 게임, 임베디드 시스템