

# 비트플레인 및 다중채널 특성을 이용한 컬러 영상의 적응 스테가노그래피

이신주<sup>†</sup>, 정성환<sup>\*\*</sup>

## 요약

본 논문은 비트플레인 및 다중채널 특성을 이용한 컬러 영상의 적응 스테가노그래피 방법을 제안하였다. RGB 채널의 모든 비트플레인에 고정 임계값을 적용하여 정보를 삽입한 결과, 채널에 따른 화질 열화의 차이를 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 BPCS (bit-plane complexity steganography) 방법의 고정 임계값 문제점을 해결하고 삽입용량과 화질을 개선하기 위하여 각 채널과 비트플레인 가중치를 정의하였다. 또한 비트플레인의 삽입 용량을 적응적으로 증가시키기 위하여, 커버 영상의 비트플레인 복잡도와 채널별 가중치를 이용하여 새로운 적응 임계값 설정 방법을 제안하였다. 실험에서는 컬러 영상에 동일한 화질과 동일한 정보량을 삽입하고, 이에 따른 삽입 용량과 채널별 화질을 비교하였다. 그 결과, 제안한 방법이 기존의 BPCS 방법보다 삽입 용량의 증가와 채널별 화질도 향상되었다.

## An Adaptive Steganography of Color Image Using Bit-Planes and Multichannel Characteristics

Sin-Joo Lee<sup>†</sup>, Sung-Hwan, Jung<sup>\*\*</sup>

## ABSTRACT

In this paper, we proposed an adaptive steganography of color image using bit-planes and multichannel characteristics. Applying fixing threshold, if we insert information into all bit-planes of RGB channel, each channels showed different image quality. Therefore, we first defined the channel weight and the bit-plane weight to solve the fixing threshold problem of BPCS(bit-plane complexity steganography) method. We then proposed a new adaptive threshold method using the bit-plane weight of channels and the bit-plane complexity of cover image to increase insertion capacity adaptively. In the experiment, we inserted information into the color images with the same image quality and same insertion capacity, and we analyzed the insertion capacity and image quality. As a result, the proposed method increased the insertion capacity and improved the image quality than BPCS method.

**Key words:** Color Image Steganography(컬러 영상 스테가노그래피), Information Hiding(정보 은닉), Adaptive Threshold(적응 임계값)

## 1. 서론

정보 은닉 기술은 커버라 불리는 의미없는 미디어

에 비밀 정보를 삽입하여 전송하는 방법이다. 이러한 정보 은닉 기술은 정보를 숨기기 위해 사용되는 영상이나 오디오와 같은 커버(cover) 매체보다 숨겨진 비밀 정보에 중점을 둔다.

일반적으로 정보은닉기술은 크게 워터마킹(water-marking)과 스테가노그래피(stegano-graphy)로 분류할 수 있다. 워터마킹의 목적은 콘텐츠에 대한 소유권을 주장하기 위하여 커버 매체에 시그너처 혹은 워터마크와 같은 심벌을 삽입한다. 따라서 삽입된 정

※ 교신저자(Corresponding Author): 이신주, 주소: 경남 창원시 사림동 9번지(641-773), 전화: 055)279-7429, FAX: 055)279-7420, E-mail: sinjoo@sarim.changwon.ac.kr  
접수일: 2004년 9월 30일, 완료일: 2005년 6월 2일  
<sup>†</sup> 준회원, 창원대학교 대학원 컴퓨터공학과(박사)  
<sup>\*\*</sup> 종신회원, 국립 창원대학교 컴퓨터공학과 교수  
(E-mail: sjung@sarim.changwon.ac.kr)

보는 어떤 공격에도 살아남을 수 있는 강인성(robustness)이 요구되며, 삽입되는 정보량은 수천 비트 정도이다. 그러나 스테가노그래피의 목적은 악의 없는 커버 매체에 비밀 정보를 숨겨 전송하는 것이다. 따라서 스테가노그래피는 비밀 정보의 존재자체를 숨기기 위한 비인지성(imperceptibility)과 충분한 내용을 삽입하기 위한 삽입용량(capacity)은 매우 밀접한 상관관계를 가진다[1-4].

스테가노그래피 방법은 인간 시각 시스템(human visual system)을 기반으로 영상이 변형되어도 사람이 인지할 수 없는 부분인 최하위 비트플레인에 정보를 삽입하였다[5-7]. Wu 등[8]은 양자화 범위와 이웃 화소간의 차분 값을 이용하여 삽입 가능한 가변 크기의 LSB(least significant bit)만큼 정보를 은닉하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 삽입 용량 면에서는 충분한 삽입용량을 제공하지 못하는 단점이 있다. Niimi 등[9,10]은 대용량의 정보를 삽입하기 위하여 고정 임계값을 이용하여 모든 비트플레인에 정보를 삽입하는 BPCS 방법을 제안하였다. 이 BPCS 방법은 복잡도(complexity)를 이용하여 이진 영상 블록을 계산하고 삽입 임계값보다 높을 경우에 정보를 삽입한다. 그러나 컬러 영상에 정보를 삽입하는 경우, 기존의 BPCS 방법은 컬러의 특성이나 비트플레인의 중요도를 고려하지 않고 그레이 영상과 같이 각 채널의 LSB에서 MSB(most significant bit)까지 모든 비트플레인에 고정 임계값을 이용하여 정보를 삽입하였다. 그러나 삽입량이 증가되면 각 컬러 채널의 상위 비트플레인까지 정보가 삽입되어 심각한 화질의 열화가 발생하였다.

본 논문에서는 컬러 영상에 고정 임계값을 사용하는 BPCS 방법을 개선하기 위하여 비트플레인 및 다중 채널 특징을 이용하여 컬러 영상에 따라 적응적으로 정보를 삽입하는 스테가노그래피 방법을 제안한다. 이를 위하여 먼저 채널별 가중치와 비트플레인별 가중치를 정의한다. 채널별 가중치는 인간의 시각이 색상 정보보다 밝기 정보에 더 민감하게 반응하기 때문에 컬러의 밝기신호에 대한 상관관계를 이용하여 산출한다. 그리고 비트플레인별 가중치는 비트플레인의 위치에 따른 화질 변화를 이용하여 산출한다. 따라서 본 논문에서는 이들 가중치를 이용하여 각 채널별 비트플레인에 적응적으로 정보를 삽입하는 스테가노그래피 방법을 제안한다.

## 2. 복잡도 기반의 BPCS 방법

일반적으로 하위 비트는 상위 비트보다 값의 변화가 작기 때문에 인간 시각으로는 그 변화를 감지하기 힘들다. 또한 비트플레인 영상은 형태 패턴을 포함하는 정보(informative) 영역과 잡음 패턴을 포함하는 잡음(noise-like) 영역으로 표현된다.

기존 연구인 Niimi 등[9,10]은 비트플레인 기반의 BPCS 방법을 제안하였다. BPCS 방법은 복잡도(complexity)를 이용하여 임계값보다 복잡도가 높은 이진블록에 정보를 삽입하였다. 그러나 치환된 이진블록 복잡도가 임계값보다 낮으면 정보 추출시 삽입된 정보 블록을 추출할 수 없다. 따라서 정보 삽입후, 복잡도가 낮은 정보 블록에 공액(conjugation) 연산을 적용하여 복잡도를 높인 후 삽입하였다. 따라서 어떤 블록이 공액 연산을 적용했는지를 알기 위해 공액 맵이 생성하며, 이를 정보 추출시에 이용하여 삽입된 정보 블록을 검출하였다.

### 2.1 복잡도

복잡도는 이진 패턴의 경계 길이(boarder length)를 이용하여 0에서 1, 1에서 0으로 컬러가 변화된 개수를 계산한다.  $w \times w$  크기의 이진 블록 영상을  $I$ 라 정의할 때, 식 (1)은  $I$ 의 가로 방향과 세로 방향에 대한 경계 길이  $B(I)$ 를 나타낸다. 여기서  $x(i, j)$ 는 이진 블록 영상  $I$ 의  $(i, j)$ 번째 값이다.

$$B(I) = \sum_{(i,j) \in I} |x(i, j) - x(i, j+1)| + \sum_{(i,j) \in I} |x(i, j) - x(i+1, j)| \quad (1)$$

식 (2)은 이진 블록 영상  $I$ 가 가질 수 있는 최대 경계 길이  $B(I)_{\max}$ 를 나타낸다.

$$B(I)_{\max} = 2 \times w \times (w-1) \quad (2)$$

이를 이용하여 식 (3)은 이진 블록 영상  $I$ 의 복잡도  $\alpha$ 를 계산한다.

$$\alpha = \frac{B(I)}{B(I)_{\max}}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (3)$$

### 2.2 공액

공액 연산은 단순한 패턴을 잡음과 같은 복잡한 패턴으로 표현하는 방법이다. 즉,  $2^m \times 2^m$  크기의 이

진 영상  $P$ 와 체스판과 같은 복잡도  $\alpha$ 가 1인 이진 영상을  $W_c$ 로 정의하면,  $P^*$  영상은  $P$ 의 공액(conjugate)이 된다.

다음은 공액 연산에 대한 성질을 나타낸 것으로  $P$ 와  $P^*$ 는 1:1 대응이다.

- (1)  $P^* = P \oplus W_c$  (2)  $(P^*)^* = P$  (3)  $P^* \neq P$
- (4)  $\alpha(P^*) = 1 - \alpha(P)$

성질 (1)은 영상  $P$ 와  $W_c$ 를 XOR을 하여 공액 영상  $P^*$ 를 얻는다. 성질 (2)은 공액 영상에 공액 연산을 수행하면 원 영상을 얻는다. 그리고 성질 (4)와 같이 공액 영상의 복잡도는 1에서 원 영상의 복잡도를 뺀 값과 같은 성질을 가진다.

### 3. 채널별 비트플레인 가중치 및 적응 임계값

다음은 BPCS 방법에서와 같이 각 채널과 비트플레인에 고정 임계값을 이용하여 정보를 삽입하고 고정 임계값에 따른 문제점을 살펴본다. 그리고 컬러 특성을 이용하여 비트플레인의 위치와 채널간의 상관관계를 고려한 가중치를 정의하고, 정보 삽입을 위한 채널별 적응 임계값을 산출한다.

#### 3.1 비트플레인과 채널의 특징

##### 3.1.1 고정 임계값을 적용한 비트플레인의 특징

비트플레인의 값의 크기는 위치에 따라 비선형적이며, 비트플레인이 갖는 값의 의미도 동일하지 않다. 다음은 비트플레인의 특성을 알아보기 위해 각 비트플레인에 동일한 고정 임계값을 적용하고 화질 변화를 측정해 보았다. 그림 1은 Lena 영상의 각 비

트플레인에 고정 임계값( $\alpha=0.05$ )을 이용하여 9,400 바이트의 용량을 삽입하고 화질을 측정하였다. 그 결과, 최하위 비트플레인(LSB)에 삽입한 경우는 PSNR이 51.14[dB]로 원영상과 거의 차이가 없었다. 그러나 최상위 비트플레인(MSB)에 삽입한 경우는 PSNR이 19.95[dB]로 화질의 열화가 매우 심하였다.

##### 3.1.2 고정 임계값을 적용한 컬러 채널 특징

다음은 컬러 채널의 특성을 알아보기 위하여, 그림 2와 같이 각 채널별로 고정 임계값을 이용하여 같은 용량을 삽입하고 화질을 측정하였다. 그리고 그림 3과 같이 각 채널별로 다른 임계값을 이용하여 정보를 삽입하고 화질을 측정하였다.

먼저 그림 2의 Baboon과 Lena 영상은 삽입 임계값  $\alpha=0.2$ 를 이용하여 한 채널에만 정보를 삽입하였다. Baboon 영상에는 각 채널별 198,280 바이트, Lena 영상에는 134,560 바이트를 삽입하였다. 각 채널별로 PSNR을 측정한 결과, Baboon 영상은 정보가 삽입된 채널에서 약 16~17[dB], Lena 영상은 약 26~30[dB] 정도의 화질의 열화를 나타내었다. 정보가 삽입되지 않은 채널은 원본과의 차이를 나타내지 못했다.

이와 같이 BPCS의 방법처럼 비트플레인의 위치나 채널을 고려하지 않고 고정 임계값을 이용하여 정보를 삽입할 경우 채널별 화질의 열화가 상대적으로 많이 발생하였다. 따라서 그림 3과 같이 채널별로 다른 임계값을 적용하여 화질을 비교 실험해 보았다. Baboon 영상에는 478,800 바이트, Lena 영상에는 325,688 바이트를 삽입하였다. 삽입 임계값이 낮으면 해당 채널에는 많은 정보가 삽입되므로 다른 채널에 비해 PSNR은 낮아진다. 그러나 Blue 채널에는 삽입 임계값을 낮게 하여 많은 정보를 삽입하여도 다른

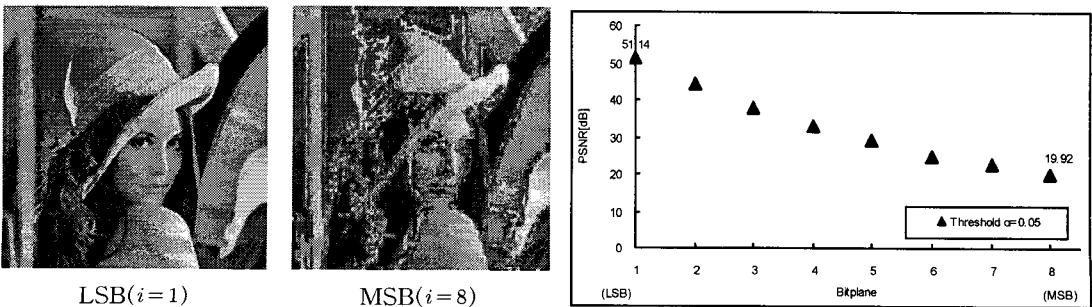
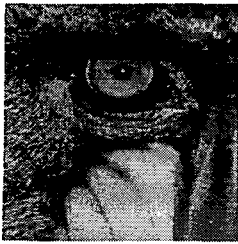
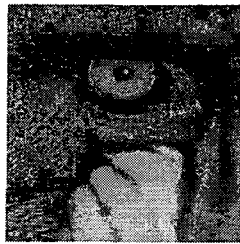


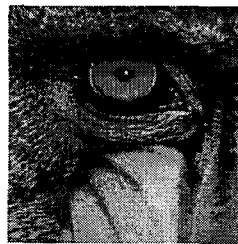
그림 1. 고정 임계값과 동일한 삽입량을 적용한 비트플레인별 화질 비교



(a) Red 채널



(b) Green 채널



(c) Blue 채널

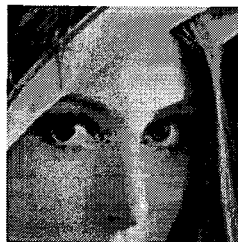
삽입 방법	채널		
	Red	Green	Blue
(a)	16[dB]	Infinity	Infinity
(b)	Infinity	16[dB]	Infinity
(c)	Infinity	Infinity	17[dB]



(d) Red 채널



(e) Green 채널



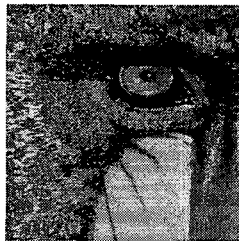
(f) Blue 채널

삽입 방법	채널		
	Red	Green	Blue
(d)	26[dB]	Infinity	Infinity
(e)	Infinity	30[dB]	Infinity
(f)	Infinity	Infinity	30[dB]

그림 2. 채널별 정보 삽입 후의 컬러 영상에 대한 화질 평가(삽입 임계값  $\alpha = 0.2$ )



(a) Red=0.3, Green=0.4, Blue=0.4



(b) Red=0.4, Green=0.3, Blue=0.4



(c) Red=0.4, Green=0.4, Blue=0.3

삽입 방법	채널		
	Red	Green	Blue
(a)	19[dB]	23[dB]	23[dB]
(b)	24[dB]	17[dB]	25[dB]
(c)	24[dB]	23[dB]	19[dB]
diff	5[dB]	6[dB]	4-6[dB]



(d) Red=0.3, Green=0.4, Blue=0.4



(e) Red=0.4, Green=0.3, Blue=0.4



(f) Red=0.4, Green=0.4, Blue=0.3

삽입 방법	채널		
	Red	Green	Blue
(a)	31[dB]	33[dB]	32[dB]
(b)	36[dB]	28[dB]	32[dB]
(c)	36[dB]	33[dB]	27[dB]
diff	5[dB]	5[dB]	5[dB]

그림 3. 채널별 임계값을 다르게 적용한 영상

채널에 비해 상대적으로 화질의 열화 현상이 시각적으로 덜 인지되었다.

본 연구에서는 비트플레인의 위치와 채널간의 상관관계를 고려하여 삽입 임계값을 다르게 적용해야 함을 실험적으로 알 수 있었다. 이를 위하여 비트플레인의 가중치와 채널간의 가중치를 이용하여 삽입

용량의 증가와 화질의 열화를 상대적으로 줄이는 방법을 제안한다.

### 3.2 채널별 비트플레인 가중치

#### 3.2.1 컬러 특성

컬러 영상정보를 인지하는 방법은 색상(Hue), 채

도(Saturation) 그리고 명도(Brightness)로 세 가지 지각 변수로 분류된다. 그러나 인간 시각은 색상 정보보다 밝기 정보에 더 민감하게 반응하며, 빛의 색에 따라 인간이 느끼는 밝기의 강도는 다르다.

이에 따라 YIQ 방식은 인간의 시각이 색상보다는 밝기에 민감하다는 사실에 착안한 색 표현 방법이며, 컬러 TV의 NTSC(National Television Systems Committee)에서 사용되었다[11]. YIQ 방식은 밝기(luminance)인 Y 성분과 빨강과 파랑에 대한 색차 신호를 분리하여 색을 나타낸다. 식 (4)은 YIQ 방식의 명암도이며 이는 각 채널의 민감도를 고려하였다[12].

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (4)$$

RGB 앞에 붙는 계수의 의미는 동일한 RGB에 대해서 인간 시각이 느끼는 밝기의 차이가 다를 수 있으므로, 계수의 값은 시각에 대한 밝기 민감도의 비율이라 볼 수 있다.

### 3.2.2 컬러별 비트플레인 가중치

비트플레인의 가중치는 위치에 따라 비선형적이므로, 그 한 예로써 다음과 같은 로그형식의 비선형적인 가중치를 정의하였다.

다음은 식 (5)와 같이 비트플레인별 가중치  $w(B_i)$ 를 정의한 것이다. 여기서  $i$ 는 해당 비트플레인의 위치를 나타내며,  $k$ 는 가중치의 크기를 조절하는 상수이다.

$$w(B_i) = k \times \log_2^i, \quad i \geq 1 \quad (5)$$

따라서 잡음과 같은 하위 비트플레인( $i=1$ )은 가중치가 낮고, 형태 정보 영역이 많은 상위 비트플레인( $i=8$ )은 높은 가중치를 갖는다.

다음 식 (6)은 채널 상수( $vR=0.299, vG=0.587, vB=0.114$ )와  $n$  비트 화소( $2^n$ )에 의해 채널별 가용비트를 정의한다. 산출된 채널별 가용비트는 채널별로 비인지성을 유지하면서 추가정보를 삽입할 수 있는 비트수  $avB_{it}$ 이다. 이 때,  $c$ 는 크기 상수이다.

$$avB_{it} = c \times \log_2((1 - \text{채널상수}) \times 2^n) \quad (6)$$

다음 식 (7)은 채널별 가중치  $W_{channel}$ 은 각 채널별 상대적인 중요성을 나타내는 수치이며, 채널별 가용비트에 의해 계산된다. 여기서  $n$ 은 화소의 비트수이다.

$$W_{channel} = 1 - \frac{avB_{it}}{n}, \quad 1 \leq n \leq 8 \quad (7)$$

그러므로 식 (8)은 식 (5)의 비트플레인 가중치  $w(B_i)$ 와 식 (7)의 채널 가중치  $W_{channel}$ 을 이용하여 채널별 비트플레인 가중치  $w_{channel}(B_i)$ 를 산출한다.

$$w_{channel}(B_i) = w(B_i) \times W_{channel} \quad (8)$$

### 3.3 적응 임계값

다음은 커버 영상에 따라 삽입 용량을 적응적으로 결정하기 위하여, 채널별 가중치를 이용하여 새로운 적응 임계값을 산출한다.

채널별 적응 임계값  $\alpha_{channel}(B_i)$ 을 산출하기 위하여, BPCS 방법의 고정 임계값  $\alpha$  대신에 식 (9)과 같이 채널별 비트플레인 가중치를 이용하였다.

$$\alpha_{channel}(B_i) = w_{channel}(B_i) \quad (9)$$

그러나 임계값  $\alpha_{channel}(B_i)$ 은 커버 특징을 반영하지 못하므로 이를 개선된 적응 임계값을 정의하였다. 이를 위하여 먼저 식 (10)과 같이 채널별 차분값  $\Delta x_i$ 를 산출하였다. 채널별 차분값  $\Delta x_i$ 는 각 채널별 비트플레인 가중치  $w_{channel}(B_i)$ 에 비트플레인 복잡도  $c(B_i)$ 를 반영한 것이다.

$$\Delta x_i = w_{channel}(B_i) \times c(B_i) \quad (10)$$

비트플레인 복잡도  $c(B_i)$ 는  $i$ 번째 비트플레인에 있는 블록 복잡도를 평균한 것으로, 잡음 혹은 형태 정보와 같은 비트플레인의 전체적인 특징을 반영한 것이다.

다음 식 (11)은 개선된 채널별 적응 임계값  $\alpha'_{channel}(B_i)$ 으로 차분값  $\Delta x_i$ 을 반영한다.

$$\begin{aligned} \alpha'_{channel}(B_i) &= w_{channel}(B_i) - \Delta x_i \\ &= w_{channel}(B_i) \cdot (1 - c(B_i)) \end{aligned} \quad (11)$$

그러므로 개선된 채널별 적응 임계값  $\alpha'_{channel}(B_i)$ 은 비트플레인 가중치를 바로 임계값으로 사용하는 것보다 삽입량을 증가할 수 있다. 또한 적응 임계값은 커버 영상에 따라 적응적으로 변화된다.

그림 4는 Lena 영상의 비트플레인 복잡도  $c(B_i)$ 와 채널별 비트플레인 가중치  $w_{channel}(B_i)$ 을 이용하여 채널별 적응 임계값  $\alpha'_{channel}(B_i)$ 을 구한 예이다. 그림

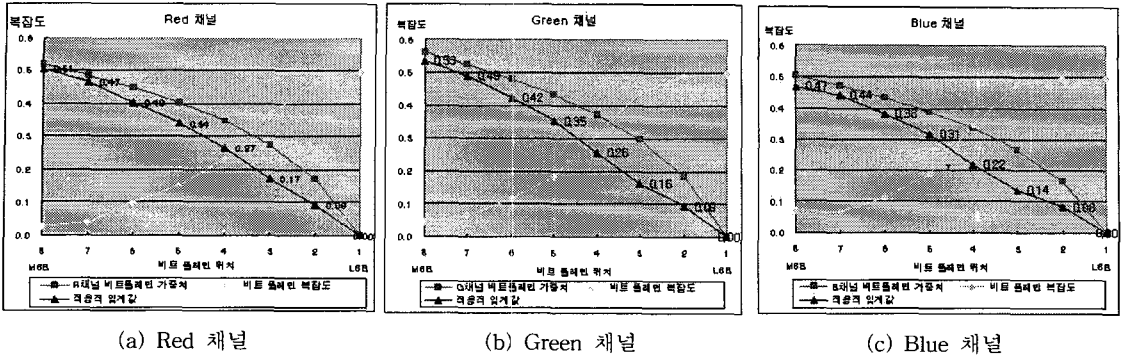


그림 4. 채널별 가중치와 비트플레인 복잡도를 이용한 적응 임계값. (Lena 영상, block size= $2^3 \times 2^3, c=0.45$ )

4(b)의 Green 채널은 상대적으로 높은 적응 임계값을 가지기 때문에, 상위 비트플레인까지 정보가 삽입되는 양이 상대적으로 적음을 알 수 있다. 그러나 그림 4(c)의 Blue 채널은 적응 임계값이 다른 채널에 비해 상대적으로 낮아 비교적 상위 비트플레인까지 정보를 삽입할 수 있다. 따라서 그림 4(a), (b), (c)에서와 같이 모든 채널의 LSB 플레인은 블록 복잡도가 높아 정보 삽입을 위한 적응 임계값이 상대적으로 낮아져 거의 모든 블록에 정보가 삽입된다. 그러나 MSB 플레인은 블록 복잡도가 상대적으로 낮아 적응 임계값이 높아져 정보 삽입이 잘 일어나지 않는다. 따라서 화질의 열화를 방지할 수 있다.

#### 4. 적응 임계값을 이용한 스테가노그라피

다음은 제안한 비트플레인 및 다중 채널 특성을 이용한 컬러 영상의 적응 스테가노그라피를 위한 삽입 및 추출 알고리즘이다.

##### 4.1 삽입 알고리즘

다음은  $2^M \times 2^M$  크기의 컬러 영상에 채널별 적응

임계값을 이용하여 비밀 정보를 삽입하는 방법이다. 삽입 알고리즘은 크게 삽입 정보에 대한 과정과 커버 영상에 대한 과정으로 나눌 수 있다.

다음은 삽입 정보에 관한 전처리과정이다.

**Step1.** 삽입정보  $E$ 는 비트 스트림 형태로 표현한다. 정보를 삽입하기 위하여  $2^m \times 2^m$ 의 비트 블록  $E(x, y)$ 가 생성된다.

**Step2.** 생성된 모든 비트 블록  $E(x, y)$ 에 대하여 복잡도  $\alpha=1$ 인 패턴  $W_c$ 로 공액 연산을 수행하여 새로운 비트 블록  $E'(x, y)$ 으로 표현한다.

- 이것은 모든 비트 블록  $E(x, y)$ 에 대하여 잡음 필터를 적용한 것과 같으며, 모든 비트 블록을 그냥 삽입하는 것보다 통계적 오차를 줄일 수 있다.

한 예로, 그림 5는 삽입 정보에 대한 공액 연산을 적용한 후의 블록 복잡도를 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 삽입 정보인 Pepper 영상에 대한 블록 복잡도이고 그림 5(c)는 Hwp 파일에 대한 블록 복잡도이다. 이를 삽입 정보에 대해 공액 연산을 적용하면 그림 5(b)와 (d)와 같이 블록 복잡도가 변화됨을 알 수 있었다.

다음은 커버 영상의 전처리 과정과 삽입 과정이다.

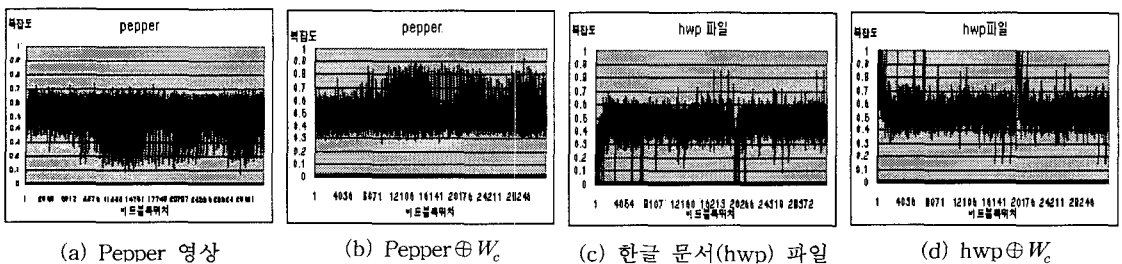


그림 5. 삽입 정보와 공액 연산후의 블록 복잡도

**Step1.** 24 비트 컬러 영상을 이용하여 R, G, B 영상으로 분리하고, 비트플레인으로 표현된 화소에 그레이 부호를 적용하고,  $i$ 개의 비트플레인으로 나눈다. 각 비트플레인을  $2^m \times 2^m$ 의 블록  $B_i(x, y)$ 로 분할한다.

- 그레이 코드를 적용하는 이유는 명암도에서는 약간의 변화가 비트평면의 복잡성에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 작은 명암도의 변화 효과를 줄이기 위해  $i$  비트 그레이 부호로 영상을 먼저 표현한다.

**Step2.** 다음은 블록 및 비트플레인 복잡도 계산과 이를 이용하여 채널별 적응 임계값을 산출한다.

- 채널별로 분할된 블록은 식 (1)~(3)에 의해 블록 복잡도  $c(B_i(x, y))$ 를 계산하고, 이를 이용하여 비트플레인 복잡도  $c(B_i)$ 를 계산한다.

- 식 (8)에 의해 계산된 채널별 비트플레인 가중치  $w_{channel}(B_i)$ 와 비트플레인 복잡도  $c(B_i)$ 를 이용하여, 식 (11)에 의해 새로운 적응 임계값  $\alpha'_{channel}(B_i)$ 를 계산한다. 산출된 적응 임계값은 커버 영상에 따라 변화된다.

**Step3.** 정보를 삽입하기 위해 각 비트플레인을 채널 순으로 선택한다. 그리고 정보가 삽입될 블록  $B_i(x, y)$  위치는 비밀키를 이용해 랜덤하게 생성된다.

**Step4.** 다음은 선택된 블록에 정보 블록을 삽입하는 과정이다.

- 아래의 의사 코드와 같이 비밀키  $K_{seed}$ 에 의해 선택된 블록  $B(x, y)$ 에 대해 블록 복잡도  $c(B_i(x, y))$ 가 적응 임계값  $\alpha'_{channel}(B_i)$  이상이면 정보 블록  $E(x, y)$ 으로 치환하고, 적응 임계값 이하이면 정보를 치환하지 않는다.

- 해당 위치맵  $L_k$ 은 정보 치환 여부에 따라 1 혹은 0을 표시한다.

**Step5.** 비트플레인을 취합하고 전처리과정에서 사용한 그레이 부호를 적용하면 스테고 영상이 생성된다.

- 정보 추출시 사용되는 키 정보는 비밀키  $K_{seed}$ 와 정보 삽입시 생성된 위치맵  $L_k$ 이며 이를 암호화하여 전송한다.

4.2 추출 알고리즘

다음은 비밀 정보를 추출하기 위한 알고리즘이다.

먼저 정보 추출을 위해 정보 삽입시 사용한 암호화된 키 정보인 비밀키  $K_{seed}$ 와 위치맵  $L_k$ 를 복호화 한다.

다음은 정보 추출을 위한 전처리 과정이다.

**Step1.** 스테고 영상을 채널별로  $i$ 개의 비트플레인으로 나누고,  $2^m \times 2^m$ 의 블록  $B_i(x, y)$ 로 분할한다. 분할된 블록은 삽입 정보시 사용한  $W_c$ 를 이용하여 공역 연산을 수행하여 비트 블록  $B_i(x, y)$ 으로 재구성한다.

**Step2.** 블록 인덱스  $k$ 는 전송된 비밀키  $K_{seed}$ 에 의해 생성된다.

**Step3.** 위의 의사 코드와 같이 블록 인덱스  $k$ 에 해당하는 위치맵  $L_k$ 이 1이면, 선택 블록  $B_i(x, y)$ 를 정보 블록  $E(x, y)$ 으로 추출한다.

<p><i>Block_index B(x,y) Random Generator with seed</i></p>
<p>삽입 알고리즘 Step 4의 의사 코드</p>
<pre> for i=LSB to MSB   for bitplane = Red(i), Green(i), Blue(i)     for all blocks of a bitplane       if c(B<sub>i</sub>(x,y)) ≥ α'<sub>channel</sub>(B<sub>i</sub>) then         B<sub>i</sub>(x,y) = E<sub>k</sub>;         L<sub>k</sub> = 1 ;       else         L<sub>k</sub> = 0;       end if       k++;     next   next next                 </pre>
<p>추출 알고리즘 Step 3의 의사 코드</p>
<pre> for i=LSB to MSB   for bitplane = Red(i), Green(i), Blue(i)     for all blocks of a bitplane       if L<sub>k</sub> = 1 then         E<sub>k</sub> = B<sub>i</sub>(x,y);       end if       k++;     next   next next                 </pre>

4.3 BPCS와 제안한 방법 비교

다음 표 1은 BPCS 방법과 제안한 방법을 비교한 것이다. 먼저 이진 블록에 대한 복잡도 측정 방법은 BPCS 방법과 동일하게 사용하였다.

첫 번째, 정보 삽입을 위한 임계값 선택이다. BPCS 방법은 고정적인 임계값을 사용하여 모든 채널의 모

표 1. BPCS 방법과 제안한 방법 비교

	BPCS 방법	제안한 방법
삽입 임계값	모든 채널에 동일	채널별 비트플레인에 따라 적응적
블록 선택	순차적으로 선택	시드값에 따라 랜덤하게 선택
공액 연산	임계값보다 낮은 정보 블록에 적용	정보 블록 전체에 적용
스테고키	임계값, 공액맵	시드값, 위치맵
복잡도 계산	삽입시: 정보 블록, 커버 영상의 블록 추출시: 스테고 영상의 전체 블록	삽입시: 커버 영상의 블록 추출시: 해당 없음

든 비트플레인에 동일하게 적용하였다. 그러나 제안한 방법은 비트플레인과 다중 채널의 특징을 고려한 적응 임계값을 산출하고 이를 컬러 영상에 적용하였다.

두 번째, 정보 삽입을 위한 블록 선택이다. BPCS 방법은 순차적으로 블록을 선택하여 해당 블록이 임계값 이상이면 정보를 삽입하였다. 그러나 제안한 방법에서는 시드값을 이용하여 랜덤하게 블록을 선택하고, 해당 블록이 적응 임계값 이상이면 정보를 삽입하였다.

세 번째, 공액 연산에 대한 의미이다. BPCS 방법에서는 추출시 삽입 블록의 누락을 방지하기 위해 공액 연산을 수행하였다. 즉, 삽입된 블록의 복잡도를 임계값 이상으로 만들기 위하여 적용하였다. 그러나 제안한 방법은 정보 블록을 잡음처럼 표현하기 위하여 전처리 과정에서 모든 정보 블록에 공액 연산을 적용하였다. 그 결과, BPCS 방법에서는 연산을 수행한 블록을 표시하는 공액맵이 생성되고, 제안한 방법에서는 정보가 삽입된 위치를 나타내는 위치맵이 생성된다. 이 생성된 맵이 정보 추출시 사용되는 스테고 키이다.

네 번째, 정보 삽입 및 추출시 사용되는 복잡도 계산이다. BPCS 방법에서는 정보 삽입시 커버 영상과 정보 블록 그리고 정보 추출시 스테고 영상에서 복잡도를 계산한다. 그러나 제안한 방법에서는 정보 삽입시에 커버 영상에서만 복잡도 계산을 수행하였다. 따라서 제안한 방법이 BPCS 방법보다 복잡도 계산이 상대적으로 적고 정보 삽입 및 추출이 간단하다.

5. 실험 결과

본 연구에서는 BPCS의 고정 임계값과 제안한 채널에 따른 비트플레인별 적응 임계값을 이용하여 화

질 변화와 삽입 용량을 실험하였다. 실험을 위하여 512x512(786,432 바이트)의 표준 컬러 영상들을 사용하였고, 삽입 정보는 텍스트와 다양한 영상으로 실험하였다.

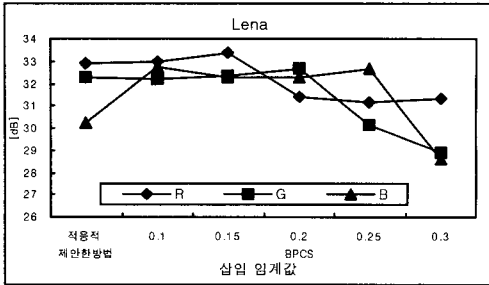
5.1 BPCS의 복잡도별 삽입 임계값을 적용한 화질평가

다음 그림 6은 제안한 적응 임계값과 BPCS의 복잡도별 삽입 임계값을 이용하여 동일한 용량을 삽입하고 각 채널의 화질을 비교한 것이다. 제안한 적응 임계값 방법에서는 다른 채널에 비해 Blue 채널이 PSNR이 상대적으로 낮았다. BPCS 방법은 복잡도 0.2 이하의 블록에 대해 삽입 결과, 각 채널의 PSNR이 제안한 방법보다 높았다. 그러나 0.2 이상에 정보를 삽입한 경우, 각 채널의 PSNR이 급격하게 낮아짐을 알 수 있었다.

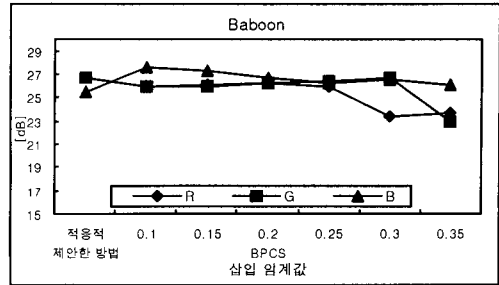
그러나 컬러 영상에 대해서는 각 채널별로 PSNR만으로 영상을 판단할 수 없다. 그림 7은 그림 6(a)의 결과인 Lena 스테고 영상이다. 그림 7(b), (g)는 기존 BPCS 방법의 복잡도 0.1 이상 그리고 그림 7(c), (h)는 복잡도 0.2 이상 부분에 정보가 삽입된 경우이다. 그 결과, 그림 7(e), (j)의 제안한 적응적 방법보다 얼굴과 어깨의 평탄한 영역에 화질의 열화가 상대적으로 많이 발생하였다. 또한 그림 7(d)은 복잡도 0.2 이상의 삽입 임계값을 이용한 결과이다. 그 결과, 그림 7(e)의 제안한 적응적 방법보다 눈동자 주변의 경계 부분에 화질의 열화가 상대적으로 많이 발생하였다.

실험 결과, 컬러의 특성에 의해 정보가 삽입되는 채널에도 영향이 있음을 알 수 있었다. 이는 제안한 적응적 방법이 상대적으로 Blue 채널의 PSNR이 낮았지만, 인간 시각이 Blue 채널에 대한 화질 열화에 대한 차이를 인지하기 어렵다는 것을 알 수 있었다. 따라서 상대적으로 Blue 채널이 Red나 Green 채널보다 인간 시각에 대한 민감도가 낮음을 알 수 있었다.

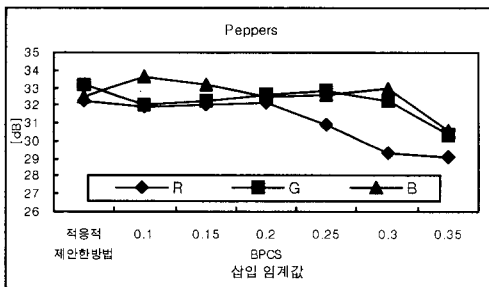




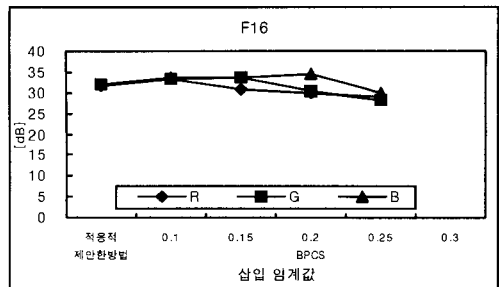
(a) Lena에 임계값에 따라 삽입 (350,000bytes)



(b) Baboon에 임계값에 따라 삽입(470,000bytes)



(c) Peppers에 임계값에 따라 삽입(370,000bytes)



(d) F16에 임계값에 따라 삽입(350,000 bytes)

그림 6. 제안한 적응 임계값과 BPCS의 고정 임계값을 적용한 채널별 화질 비교

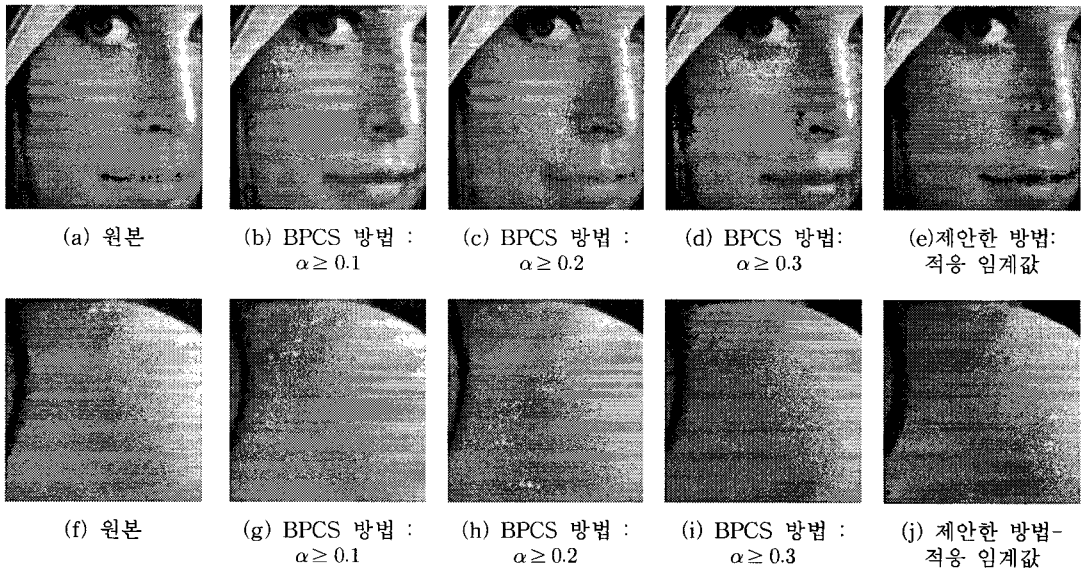


그림 7. BPCS의 복잡도별 고정 임계값과 제안한 적응 임계값을 적용한 스테고 영상

### 5.2 정보 삽입 및 화질 평가

표 2는 기존의 BPCS 방법과 제안한 방법을 이용하여 각 커버 영상에 따라 동일한 용량을 삽입하고 이에 따른 채널별 화질을 평가하였다. 실험 결과, 커

버 영상에 평균 약 44%정도를 삽입하였다. 그 결과 채널별 적응 임계값을 사용한 제안한 방법이 BPCS 방법보다 Red와 Blue 채널은 평균 약 2[dB], 3[dB] 그리고 Green 채널은 평균 약 4[dB]정도의 화질이

표 2. 동일한 정보량을 삽입한 후의 화질 비교

실험 영상	삽입 용량 (bytes)	채널	BPCSmethod		Proposedmethod	
			PSNR([dB])	RMS	PSNR([dB])	RMS
Baboon	400,000 (50.86%)	R	27.93	10.23	28.90	9.15
		G	28.33	9.77	31.83	6.53
		B	32.37	6.14	31.98	6.42
Lena	358,279 (45.56%)	R	32.47	6.07	33.39	5.46
		G	29.52	8.52	33.16	5.60
		B	28.58	9.50	32.51	6.04
Girl	270,499 (34.40%)	R	33.89	5.15	36.20	3.95
		G	35.39	4.34	39.87	2.59
		B	35.78	4.15	38.74	2.95
Pepper	386,422 (49.14%)	R	28.48	9.61	29.28	8.71
		G	29.20	8.84	32.48	6.01
		B	29.47	8.57	32.45	6.04
F16	316,108 (40.20%)	R	31.59	6.72	34.73	4.68
		G	31.30	6.94	34.90	4.59
		B	35.14	4.46	35.45	4.31
Tiffany	313,591 (39.88%)	R	31.9	6.48	36.99	3.61
		G	27.53	10.72	33.10	5.64
		B	29.73	8.32	33.67	5.28
Sailboat onlake	395,892 (50.34%)	R	28.62	9.46	28.43	9.66
		G	26.86	11.57	30.92	7.25
		B	27.94	10.22	32.61	5.97
평균	348,684 (44%)	R	30.70	7.67	32.56	6.46
		G	29.73	8.67	33.75	5.46
		B	31.29	7.34	33.92	5.29

향상되었다.

그림 8은 표 2와 같이 BPCS 방법과 제안한 방법으로 Lena 영상에 358,279 바이트를 삽입한 스테고 영상이다. 각 채널별로 약 1~4[dB]정도의 화질이 향상되었다. 또한 24비트 컬러 영상에 대해서 화질을 시각적으로 살펴보면 다음과 같다. 그림 8(a)은 정보가 삽입되지 않은 커버 영상이다. 그림 8(b)은 고정 임계값을 이용한 BPCS 방법이다.

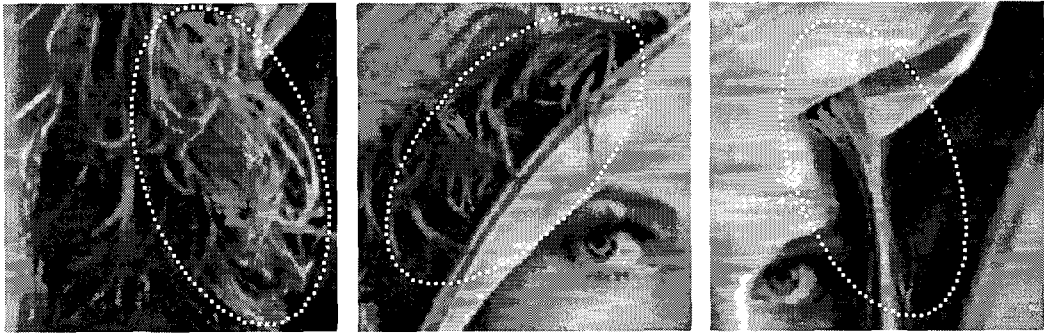
실험 결과, 모자의 깃털이나 모자의 테두리 및 머리카락 등의 영역에서 화질의 열화가 매우 심하였다. 그림 8(c)은 제안한 방법인 채널별 적응 임계값을 이용하여 정보를 삽입한 결과이다. 삽입 결과, 기존 방법과 같은 심각한 화질 열화는 없었다.

표 3은 동일한 화질을 유지하고 그에 따른 삽입 용량을 비교한 결과이다. 커버의 용량이 786,432 바이트(512×512×3)인 컬러영상에 대하여 평균 약

34[dB]의 화질을 기준으로 실험하였다. 고정 임계값을 이용한 BPCS 방법은 평균 약 36.5%의 정보가 삽입되었고, 적응 임계값을 이용한 제안한 방법은 평균 약 41.9%의 정보가 삽입되었다. 따라서 제안한 방법이 BPCS 방법보다 삽입 용량 면에서 평균 약 5.5% 정도 증가되었다.

## 6. 결 론

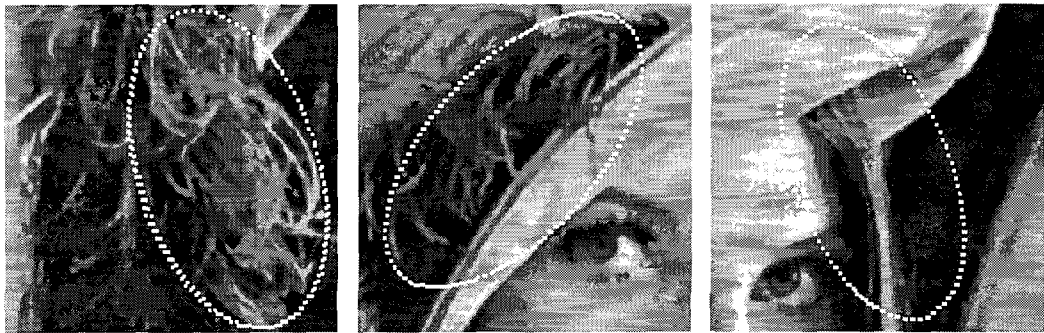
본 연구에서는 비트플레인과 다중채널의 특성을 이용하여 컬러 영상에 대한 적응 임계값을 산출하고 이를 적용한 스테가노그래피 방법을 제안하였다. 기존의 BPCS 방법은 채널과 비트플레인에 상관없이 고정 임계값을 적용하였다. 그 결과, 삽입할 정보량에 따라 최적의 삽입 임계값을 찾는 것이 어렵다. 또한 컬러 채널에 동일한 고정 임계값을 사용한 결과,



(a) 정보가 삽입되지 않은 커버 영상



(b) BPCS 방법으로 삽입한 결과



(c) 제안한 방법으로 삽입한 결과

그림 8. Lena 영상에 동일한 삽입량(358,279 바이트)을 적용한 스테고 영상

정보가 삽입된 컬러 스테고 영상에 대한 화질 열화의 차이를 알 수 있었다.

따라서 제안한 연구는 컬러 영상에 적용하는 고정 삽입 임계값 문제를 해결하고 화질 개선과 정보 삽입 용량을 증가하고자 한다. 이를 해결하기 위하여 컬러 영상의 RGB 채널과 비트플레인의 특징을 고려하여 각 채널별 적응 임계값을 적용하였다.

본 실험에서는 24비트의 Baboon, Lena 등의 영상에 BPCS 방법과 제안한 방법을 적용하여 화질과 삽

입 용량을 실험하였다. 채널별 화질을 평가하기 위하여 커버 영상의 평균 약 44%의 용량을 삽입하였다. 그 결과, 제안한 방법이 각 채널별로 평균 약 2~4[dB]정도의 화질이 향상되었다. 또한 스테고 영상의 화질이 평균 약 34[dB]일 때 삽입 용량을 평가하였다. 그 결과, BPCS 방법은 커버 영상의 평균 약 36.5%이고, 제안한 방법은 평균 약 41.9%가 삽입되었다. 따라서 제안한 방법이 BPCS 방법보다 평균 약 5.5% 정도 삽입량이 증가되었다.

표 3. 동일한 화질(평균 약34(dB))에 대하여 삽입용량 비교

실험영상	삽입용량 (bytes)	채널	BPCSmethod		삽입용량 (bytes)	채널	Proposedmethod	
			PSNR([dB])	RMS			PSNR([dB])	RMS
Lena	301,354 (38.32%)	R	35.77	4.15	358,279 (45.56%)	R	33.39	5.46
		G	32.64	5.95		G	33.16	5.60
		B	31.40	6.86		B	32.51	6.04
Pepper	325,000 (41.33%)	R	31.44	6.83	360,000 (45.78%)	R	32.16	6.29
		G	33.68	5.28		G	32.90	5.77
		B	34.58	4.76		B	34.08	5.04
Girl	225,178 (28.63%)	R	36.11	3.99	284,714 (36.20%)	R	35.65	4.21
		G	36.61	3.77		G	37.08	3.57
		B	36.13	3.98		B	35.17	4.45
Sailboat onlake	340,000 (43.23%)	R	32.60	5.98	360,500 (45.84%)	R	32.12	6.32
		G	32.98	5.72		G	32.20	6.26
		B	33.75	5.23		B	35.42	4.32
F16	277,786 (35.32%)	R	33.26	5.54	331,000 (42.09%)	R	32.58	5.99
		G	32.26	6.22		G	32.93	5.75
		B	33.81	5.20		B	33.57	5.35
Tiffany	260,746 (33.16%)	R	36.31	3.90	320,000 (40.69%)	R	35.65	4.21
		G	31.34	6.91		G	32.06	6.36
		B	32.72	5.90		B	33.38	5.46
Baboon	352,000 (44.76%)	R	32.44	6.09	360,000 (45.78%)	R	32.02	6.39
		G	32.40	6.11		G	31.83	6.53
		B	34.73	4.68		B	36.98	3.61
Couple	210,882 (26.82%)	R	35.51	4.27	261,418 (33.24%)	R	35.65	4.21
		G	35.95	4.07		G	37.08	3.57
		B	35.84	4.12		B	35.17	4.45
평균	286,618 (36.45%)		33.93	5.23	329,489 (41.90%)		33.95	5.22

향후 연구로는 멀티채널 스테가노그래피 방법을 스테그어날리시스를 통해 분석하고자 한다. 또한 다양한 컬러모델을 적용하여 스테가노그래피 모델을 비교하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] F. A. P. Petitcolas, R. J. Anderson, and M. G. Kuhn, "Information Hiding-A Survey," *Proc. of the IEEE*, Vol. 87, No. 7, pp. 1062-1078, 1999.  
 [2] N. F. Johnson, Z. Duric, and S. Jajodia, *Information Hiding : Steganography and Watermarking - Attacks and Countermeasures*, Kluwer Academic Publisher, 2000.  
 [3] R. Anderson and F. P. Petitcolas, "On the limits of steganography," *IEEE Journal of Selected*

*Areas in Comm.*, Vol. 16, No. 4, pp. 474-481, 1998.

[4] D. C Wu and W. H. Tsai, "Spatial-domain image hiding using image differencing," *IEE Proc.-Vis. Proc. of Image Signal Process*, Vol. 147, No. 1, pp. 29-37, 2000.  
 [5] L. M. Marvel, C. G. Bonchelet, and C. T. Retter, "Spread Spectrum Image Steganography," *IEEE Transactions on image processing*, Vol. 8, No. 8, pp. 1075-1083, 1999.  
 [6] Y. K. Lee and L. H. Chen, "High Capacity Image Steganographic Model," *IEEE Proceedings-Vision, Images & Signal Processing*, Vol. 147, No. 3, pp. 288-294, 2000.  
 [7] M. Barni and F. Bartolini, *Watermarking Systems Engineering, Signal Processing and*

*Communications Series*, 2004.

- [8] D. C. Wu and W. H. Tsai, "A Steganographic Method for Images by Pixel-Value Differencing," *Proc. of Pattern Recognition Letters*, Vol. 24, pp. 1613-1626, 2003.
- [9] M. Niimi, H. Noda, and E. Kawaguchi, "An Image Embedding in Image Complexity Based Region Segmentation Method," *Proc. of ICIP*, Vol. 3, pp. 74-77, 1997.
- [10] M. Niimi, H. Noda, and E. Kawaguchi, "Steganography Based on Region Segmentation with a Complexity Measure," *Proc. of the Systems and Computers in Japan*, Vol. 30, No. 3, pp. 1132-1140, 1999.
- [11] G. Sharma and H. J. Trussell, "Digital Color Imaging," *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol. 6, No. 7, pp. 901-932, 1997.
- [12] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing(2nd Edition)*, Prentice Hall Publisher, 2002.
- [13] 이신주, 정성환, "비트 플레인별 적응적 임계값을 이용한 대용량 스테가노그래피," *한국정보처리학회 논문지*, Vol. 11(B), No. 4, pp. 395-402, 2004.



**이 신 주**

1991년 경남대학교 전산통계학과(학사)  
 2000년 창원대학교 대학원 전자계산학과(석사)  
 2005년 창원대학교 대학원 컴퓨터공학과(박사)

관심분야 : 멀티미디어 정보보호, 영상처리, 프로그램 시각화 등



**정 성 환**

1979년 경북대학교 전자공학과(공학사)  
 1983년 경북대학교 대학원 정보통신전공(공학석사)  
 1988년 경북대학교 대학원 영상처리전공(공학박사)  
 1986년 전자계산기 기술사

1992년 정보처리 기술사  
 1983년~1985년 한국전자통신연구원 연구원  
 1992년~1994년 미국 캘리포니아 주립대학(UCSB) Post-Doc.  
 1999년~2000년 미국 콜로라도 CSM주립대학 객원교수  
 1988년~현재 국립창원대학교 컴퓨터공학과 교수  
 관심분야 : 영상정보처리, 멀티미디어 정보보호, 내용기반 영상검색 등