

# 디지털 방송에서 콘텐츠의 저작권 보호를 위한 실시간 워터마킹 하드웨어 시스템 구현

## Implementation of a Real Time Watermarking Hardware System for Copyright Protection of a Contents in Digital Broadcasting

정용재, 김종남, 문광석  
부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

Yong-Jae Jeong(jy034@pknu.ac.kr), Jong-Nam Kim(jongnam@pknu.ac.kr),  
Kwang-Seok Moon(ksmoon@pknu.ac.kr)

### 요약

방송용 디지털 콘텐츠의 저작권 보호를 위한 워터마킹은 실시간 처리가 가능하도록 만들어져야한다. 본 논문에서는 알테라사의 STRATIX 칩을 사용하여 HD/SD 비디오의 하드웨어 기반의 실시간 비디오 워터마킹 시스템을 제안한다. 실험 결과 원 비디오 신호와 워터마크가 삽입된 비디오 신호사이에서 주관적인 화질 비교에서 화질 차이가 거의 없었다. 삽입된 워터마크는 A/D 변환과 같은 자연적 비디오 공격의 강인성 테스트 후 검출되었다. 구현된 워터마킹 하드웨어 시스템은 실시간으로 콘텐츠를 보호하기를 원하는 영화 제작사 그리고 방송국에서 유용하게 사용 될 수 있을 것이다.

■ 중심어 : | 비디오 워터마킹 | 실시간 처리 | FPGA 구현 | SD/HD 비디오 |

### Abstract

A watermarking for copyright protection of digital contents for broadcasting have to be made for a real-time system. In this paper, we propose a real-time video watermarking system which is hardware-based watermarking system of SD/HD (standard definition/high definition) video with the STRATIX FPGA device from ALTERA. There was little visual artifact due to watermarking in subjective quality evaluation between the original video and the watermarked one in our experiment. Embedded watermark was extracted after robustness tests called natural video attacks such as A/D (analog/digital) conversion. Our implemented watermarking hardware system can be useful in movie production and broadcasting companies that requires real-time contents protection systems.

■ keyword : | Video Watermarking | Real-time Processor | FPGA Implementation | SD/HD Video |

## I. 서론

최근 컴퓨터 및 정보통신 기술의 발달은 고화질 비디오 응용 기술들이 가능해졌다. 오늘날 컴퓨터 환경에서,

사용자는 고화질 비디오 콘텐츠를 쉽게 저장, 편집, 재가공 그리고 배포를 할 수 있다. 그러므로 고화질 비디오의 불법 복제, 재가공 그리고 저작권 훼손에 대한 저작권 보호는 점점더 중요해지고 있다.

\* 본 연구는 부경대학교 기성회계 학술연구비 사업으로 수행된 연구 결과입니다.

접수번호 : #090602-002

접수일자 : 2009년 06월 02일

심사완료일 : 2009년 07월 30일

교신저자 : 문광석, e-mail : ksmoon@pknu.ac.kr

디지털 워터마킹 기술은 원 비디오 콘텐츠에 워터마크 정보를 삽입하여 고화질 비디오 데이터의 저작권 보호 문제를 해결하기 위하여 실제적으로 고안되어졌다. 효과적으로 워터마킹을 구현하기 위하여 워터마킹 방법은 두 가지 중요한 기술을 만족해야 한다. 그중 하나는 비가시성이고 다른 하나는 강인성이다[1-4]. 비가시성을 만족한다는 것은 원 비디오 신호에 워터마크를 삽입하더라도 사람의 시각으로 그것을 인지하지 못하는 것이다. 효과적인 워터마킹은 변환, 회전, 크기 변화와 같은 공격에 강인해야 한다. 뿐만 아니라, 고화질 비디오를 위한 워터마킹은 A/D 변환과 같은 자연적인 공격에 대하여 강인해야 한다.

고화질 방송과 실시간 방송에서 실시간 워터마킹은 반드시 필요하다. 실시간 워터마킹을 가능하게 하기 위하여 워터마킹 알고리즘을 칩 수준으로 구현 방법이 있다[5][9]. 워터마킹 알고리즘의 VLSI(very large scale integrated) 구현은 A/D 변환 그리고 JPEG 압축에 강인하도록 설계되었다[7][13]. 이와 같은 연구들의 초점은 워터마킹 알고리즘의 단일 칩 구현이었고, 워터마킹 알고리즘을 전용 시스템 수준에서 효과적이고 효율적인 구현에 대하여 연구하지는 않았다. [표 1]은 워터마킹 하드웨어 구현에 대한 이전의 연구들을 나타내었다.

표 1. 기존의 워터마크 알고리즘의 하드웨어 구현

Researcher	Design type	Visibility and Robustness	Watermark Domain	Feature of Chip
Strycker[5]	TriMedia (DSP)	Invisible Robust	Spatial	100Mhz
Petitjean[6]	FPGA board	Invisible Robust	Fractal	50MHz
Garimella[7]	Custom IC-0.13 $\mu$	Invisible Fragile	Spatial	1.2V
Tsai[8]	Custom IC-0.35 $\mu$	Invisible Robust	DCT	3.3V 50MHz
Mathai[9]	Custom IC-0.18 $\mu$	Invisible	Video	75Mhz
Seo[10]	FPGA board	Invisible Robust	Wavelet	82MHz
Garimella[11]	Custom IC-0.13 $\mu$	Invisible Fragile	Spatial	1.14v 166.6Mhz
Mohanty[12]	Custom IC-0.35 $\mu$	Visible	Spatial	292MHz
Mohanty[13]	Custom IC-0.25 $\mu$	Visible	DCT	1.5v 2.5v Dual

본 논문에서는 SD/HD 응용을 위한 고속 실시간 워터마킹이 가능한 하드웨어 시스템을 제안한다. 제안한 하드웨어 시스템은 ALTERA 사의 STRATIX FPGA 를 사용하여 구현하였다. 워터마킹 시스템은 본 논문에서 제안하는 하드웨어 기반에 최적화된 새로운 워터마킹 알고리즘을 기반으로 구현한다. 구현된 시스템은 비디오 내에서 어떤 선택된 프레임 비디오 메타 데이터와 같은 사용자 정보를 삽입할 수 있고, 워터마크가 삽입된 비디오의 어떤 프레임에서 삽입된 워터마크 정보를 검출할 수 있다.

2장에서는 하드웨어 구현에 효과적인 워터마킹 방법에 대하여 설명하고, 3장에서는 제안한 워터마킹 시스템의 구현에 대하여 기술한다. 4장에서는 워터마크 삽입 및 검출 전체 시스템 구성 및 실험 결과에 대하여 설명하고, 마지막으로 5장에서는 결론을 기술한다.

## II. 하드웨어 구현에 효과적인 워터마킹 방법

### 2.1 워터마크 삽입 알고리즘

강인한 워터마킹을 위하여 본 구현에서는 Kutter 등이 제안한 워터마킹 기법을 사용하였다[14]. Kutter는 강인한 워터마크 삽입을 위하여 대역확산 기법과 같은 워터마크를 반복적으로 삽입하는 방법을 사용하였다. 하지만, 워터마크 강도가 소수점 단위이고, 복잡한 방법으로 삽입강도를 계산하였고, 의사 랜덤 신호를 이용하여 워터마크를 구현하였다. Kutter가 제안하는 워터마크 삽입 방법은 식 (1) 과 같다. 식 (2)는 워터마크 삽입을 위한 강도 계산 방법이다. 본 논문에서는 하드웨어 구현에서 필수적인 계산복잡도 간소화를 위하여 다음과 같은 방법을 제안한다.

$$\hat{I}(x, y) = I(x, y) + w(x, y) \tag{1}$$

$$w(x, y) = \sum_{i=0}^{N-1} (-1)^{b_i} s_i(x, y) \alpha(x, y) \tag{2}$$

$I(x, y)$  : original contents       $\hat{I}(x, y)$  : watermarked contents  
 $\alpha(x, y)$  : watermark strength       $w(x, y)$  : watermark  
 $s_i(x, y)$  : modulation function       $b^i$  : binary signature

첫 번째, 워터마크 강도 계산을 위하여 기존 방법은 로그스케일과 자승의 조합으로 영상내 국부적인 특징을 추출하였지만, 로그스케일과 자승의 조합은 하드웨어 구현에서 계산 복잡도를 매우 크게 하기 때문에 영상내 국부적인 특징을 얻기 위하여 지역 분산 값의 크기를 이용하였다. 두 번째, 메시지를 워터마크로 변환할 때 곱셈과 나눗셈을 배제하고 단순 사상방법을 사용하여 계산량을 줄였다. 마지막으로, 워터마크 삽입되는 위치에 따라서 워터마크 강도가 조정되어야 하는데 일반적으로 복잡한 계산을 통하여 해당 위치에 대한 강도 크기를 소수점 단위로 계산하게 되지만, 정수형으로 워터마크 강도 크기를 결정한다. 또한 화질 열화와 워터마크 강도 개선을 위하여 영상의 특징을 이용한 단계별 워터마크를 삽입하여 시각적으로 민감할 수 있는 부분에는 워터마크를 약하게 은닉하고 그렇지 않은 부분을 6단계로 나누어 워터마크를 은닉하여 화질열화를 최소화하였다.

워터마크 삽입을 크게 두 부분으로 나누면 워터마크 메시지를 만드는 부분과 워터마크 강도를 계산하는 부분으로 나눌 수 있다. 워터마크 메시지를 만들기 위해 대역확산 기법을 사용하였다. 워터마크 메시지를 만들기 위한 입력 메시지는 저작권 정보이다. 또한 저작권 보호에 필요한 정보를 식 (2)와 같은 이진 신호로 만들기 어렵기 때문에, 본 논문에서는 텍스트를 사용하여 저작권 정보를 포함 할 수 있는 메시지를 만들었다. 식 (2)와 같이 워터마크 메시지를 메시지와 의사랜덤 신호와의 곱을 통하여 워터마크를 생성하면 곱연산에 의한 계산 복잡도가 증가하게 되므로 메시지로 사용되는 텍스트 정보를 ASCII로 변환하고 그 결과와 의사랜덤신호와의 단순 사상을 통하여 워터마크 메시지를 만들게 된다. 본 논문에서는 의사랜덤신호로 하다마드를 사용하였다. 하다마드 신호는 각 요소들이 이진인 1,-1로 구성되며 각 행과 각 열이 직교성(orthogonal)을 가지고 있으며, 하나의 심볼로 사용할 수 있다[15]. 이런 특성으로 워터마크 삽입 반복횟수를 비약적으로 높여 검출 효율을 개선할 수 있고, 하드웨어 구현하기에 간단한 구조적 특성을 가지게 된다. 본 논문에서는 영상의 특성에 따른 적용적인 워터마크 강도를 만들기 위해서 영

상의 국부영역의 분산 값으로 질감정보를 구한 후 양자화 하여 워터마크 강도를 구하였다. 우선 영상의 질감 정보를 구하기 전에 전처리 필터를 사용한다. 국부 영역의 분산 값만을 이용하여 워터마크 삽입 강도를 결정할 경우엔 비가시성과 강인성의 상관관계를 적절하게 맞추기 어려우므로 전처리 필터를 통하여 대략적인 영역을 추출하였다. 추출 되어진 영상에서 국부영역의 분산 값들을 구한 후 양자화 하여 소수의 양자화 값이 아닌 정수의 양자화 인덱스 값을 얻었다. 이 인덱스 값이 워터마크 강도이다. 이 방법을 사용하면 워터마크 강도를 소수 값이 아닌 정수 값으로 구현하여 하드웨어적인 복잡도를 줄여 처리속도의 향상을 가져 올 수 있게 된다.

## 2.2 워터마크 검출 알고리즘

삽입된 워터마크를 검출하는 방법은 워터마크를 삽입하는 방법에 따라서 틀리게 된다. 본 논문에서는 워터마크 삽입시 삽입할 메시지를 아스키 코드화하여 의사 랜덤 함수인 하다마드 신호에 대역확산 하였다. 그리고 대역확산된 신호는 영상의 국부적인 특성을 이용하여 만들어진 워터마크 강도와 곱한 후 원 비디오 신호화 더하여 워터마크가 삽입된 신호로 만들어 진다. 여기서 원 신호원에 어떤 신호가 더해 진다는 것은 중첩의 원리에 따라서 워터마크 신호원에서 워터마크 신호를 뺄 수도 있게 된다는 의미가 된다. 워터마크가 삽입된 비디오에서 워터마크를 검출하기 위하여 Kutter가 제안한 식 (3)을 사용하였다. 이 알고리즘은 워터마크를 영상에 첨가된 잡음이라고 생각하고 먼저 원영상과 잡음을 분리 한 다음 잡음과 변조함수 사이의 자기상관의 차이에 의해서 삽입한 정보를 검출한다.

$$r_i = \langle f(\hat{I}), s_i \rangle \quad (3)$$

여기서  $r_i$ 는 검출된 삽입 신호,  $f$ 는 워터마크 삽입된 신호에서 워터마크를 분리하기 위한 처리 함수,  $\langle \rangle$ 는 자기상관함수이다. 워터마크를 검출하기 위하여 크게 두 과정으로 볼 수 있는데 워터마크를 추정하는 부분과 추정된 워터마크를 통하여 메시지를 검출하는 과정이

다. 워터마크를 추정하는 과정은 전술한 것과 같이 워터마크 삽입 과정에서 원 신호에 워터마크를 더하는 방법이기 때문에 중첩의 원리에 의해 분리가 가능하다. 여기서는 분리를 효율적으로 하기 위하여 워너 필터(winner filter)를 사용한다. 워너 필터는 신호와 잡음을 효과적으로 분리 할 수 있는 필터로 워터마크가 삽입된 비디오에서 워터마크를 효율적으로 예측할 수 있는 장점이 있다. 워터마크를 예측하는 과정에서의 결과는 의사 랜덤 신호인 하다마드 신호와의 상관도를 계산한다. 하다마드 신호는 열과 열사이의 직교성이 매우 좋은 신호로 자기 상관도는 매우 높고 교차 상관도는 매우 낮은 특징을 가진다. 만약 추정된 워터마크와 하다마드 신호의 각 열과의 상관관계를 계산하여 가장 높은 상관도를 가지는 하다마드 열이 메시지와 유사한 하다마드 열로 추정 할 수 있다.

### III. 워터마킹 시스템 구현

#### 3.1 워터마크 삽입 알고리즘의 FPGA 구현

워터마크 삽입기를 구현하기 위하여 FPGA의 특성이 고려되었다. [그림 1]은 워터마크 삽입 알고리즘의 FPGA 구현에 대한 흐름을 도식화 하였다. 워터마크 삽입 칩은 ALTERA사의 FPGA인 STRATIX를 사용하여 구현하였다. FPGA에 입력되는 비디오 신호는 ANSI/SMPTE 125M 표준화 문서에 정의된 병렬형태의 YCbCr신호이다[16]. YCbCr은 Y와 C의 두 개의 신호선으로 프레임, 필드를 구별하고 수평과 수직을 구분할 수 있는 제어 신호인 TRS(Time Reference Signal)가 포함되어 있다. 입력 비디오 신호의 Y와 C 데이터에서 TRS신호를 제외한 데이터가 실제 모니터에 재생되고, 모니터에 재생되는 부분의 Y성분에 워터마크를 삽입하였다. TRS를 제외한 Y성분에 워터마크를 삽입하는 이유는 입력되는 전체 비디오 신호에 워터마크를 삽입할 경우 동기신호를 잃어 버려 재생이 되지 않는 문제점이 있기 때문이다. 워터마크 삽입 알고리즘을 FPGA로 구현하기 위하여 전체 구성을 전처리부(CSF), 워터마크 강도 생성부(Generate Watermark Strength),

워터마크 생성부(Watermark Generator) 그리고 워터마크 삽입부(Watermark Insert)로 나누어서 구현하였다. FPGA로 입력되는 신호는 고주파 통과 여파기인 CSF에 의해서 여파되는데, 이는 원 비디오 신호에서 에지를 검출하기 위하여 사용한다. 에지를 검출하기 위하여  $N \times N$  윈도우를 가져야 하고, 윈도우는  $N^2$  byte의 레지스터이다. FPGA의 입력으로 들어오는 신호는 먼저 비디오 입력 버퍼에 저장되는데, 이 버퍼는 N열의 영상 화소들을 저장한다. HD 비디오를 영상 신호 처리할 경우  $1920 \times N$  byte의 버퍼 크기가 요구된다. 버퍼는 쉬프트 레지스터를 이용하여 FIFO(first in first out)형태로 저장되고, 버퍼 레지스터와 CSF를 위한 산술 논리부는 STRATIX FPGA 디바이스에 의해서 구현된다. CSF의 출력 신호는 워터마크 강도 생성부의 입력에 연결된다. 워터마크 강도 생성부는 영상의 국부적인 특성을 이용하게 되는데 저주파 성분과 고주파 성분이 확실하게 구분되는 영상에서 각 화소의 분산 값을 계산하여 주변 보다 고주파 성분이 큰 화소에는 높은 강도를 생성하고 저주파 성분이 큰 화소에는 낮은 강도를 생성하도록 하였다.

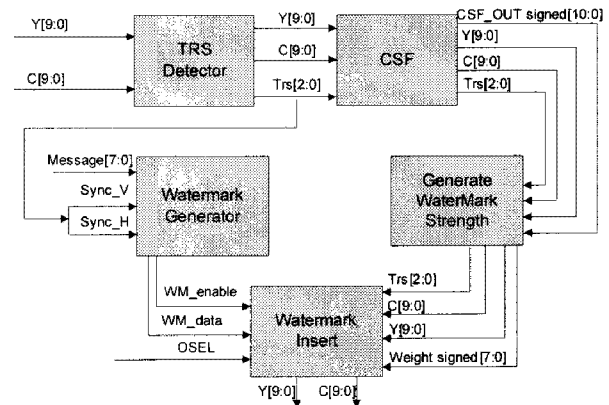


그림 1. 워터마크 삽입 칩 블록도

워터마크 생성부에서는 저작권정보를 텍스트형태로 만들어 입력메시지로 사용하고 하다마드 행렬은 ROM(read only memory)형태로 FPGA에 구현한다. 입력되는 텍스트 형태의 메시지를 ASCII형태로 변환하여 ROM에 저장된 하다마드 행렬의 변지 값과 ASCII값을

대조하여 해당하는 번지의 하다마드 값들을 워터마크 메시지로 사용한다. 워터마크 메시지와 영상의 국부적인 질감 특성을 이용하여 만든 워터마크 강도를 곱하여 워터마크를 만든다. 워터마크 메시지는 TRS신호 수평, 수직 동기 신호를 이용하여 실제 모니터에 재생되는 화면의 화소에만 더해지도록 구현하였다.

SMPTE에 정의되어 있는 BPD(Bit-Parallel Digital Interface)의 YCbCr신호는 SAV(Start of Active Video), EAV(End of Active Video), V(Vertical flag), H(Horizontal flag), F(Field flag)로 구성되어 있는 TRS신호를 포함하고 있고, 이 신호를 사용하여 입력되는 비디오 신호에서 블랭크신호(blank signal)를 제외한 화면에 표시되는 비디오 데이터를 찾을 수 있다. BPD 신호에 포함된 TRS를 이용하면 모니터에 재생되는 비디오 영역을 찾을 수 있고, 이 부분의 화소에 워터마크를 삽입 한다.

[그림 2]는 Quartus II에서의 시뮬레이션 결과를 보여 준다. 입력 비디오 신호인 YCbCr은 Y와 CbCr이 각각 10bits의 크기를 가진다.

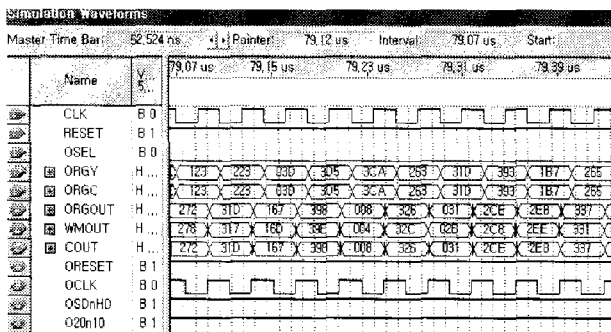


그림 2. Quartus II 에서의 시뮬레이션 결과

10bits중 상위 8bits만이 데이터를 가지고 하위 2bits는 다른 용도로 사용하기 위하여 예약되어 있다. ORGOUT은 워터마크가 삽입되지 않은 영상이고, WMOUT은 워터마크 삽입된 영상을 나타낸다. 워터마크가 삽입되지 않은 부분과 삽입된 부분을 비교했을 때 값의 차이를 알 수 있다. 영상에 삽입되는 워터마크의 크기는 워터마크 강도에 따라서 -6에서 +6까지의 차이를 가진다. 시뮬레이션 결과에서 79.15us근처의

ORGOUT와 WMOUT을 비교하면 ORGOUT은 값은 16진수 167을 가지고 WMOUT은 16진수 16D값을 가지며 그 차이는 6이다.

### 3.2 워터마크 삽입 시스템의 구현

워터마크 삽입 시스템을 구현하기 위하여 HD급의 고화질 비디오 신호에 대하여 고려하였다. HD/SD 비디오 소스는 SDI 형태의 신호로 입력되지만, FPGA에서 비디오 신호처리를 위하여 PDI(parallel digital interface)신호 형태로 변환하여 사용한다. 비디오 신호를 PDI 형태의 신호로 변환하여 FPGA의 입력으로 전달할 수 있도록 GINNUM사의 GS1560A 디바이스를 사용하였고, 워터마킹 처리가 완료된 PDI신호를 SDI신호로 만들어 출력하기 위하여 GS1532 디바이스를 사용하였다. GINNUM사의 GS15360A와 GS1532 디바이스는 SD급 및 HD급의 신호에 대한 신호 변환이 가능하여 HD급 실시간 시스템을 만드는 데 적당한 디바이스이다. FPGA의 Clock과 Reset은 입력으로 들어오는 비디오 신호의 데이터와 동기화 하기위하여 GS1560A의 Clock과 Reset을 사용하고, FPGA에서 처리가 완료된 비디오 데이터를 출력하여 GS1532 디바이스의 입력으로 전달 할 경우 역시 GS1560A의 Clock과 Reset을 사용하여 동기화 하였다.

### 3.3 워터마크 검출 시스템의 구현

워터마크가 삽입된 비디오 신호는 HD 이퀄라이즈와 디이퀄라이즈를 통하여 YCbCr의 PDE 신호로 변환되고 FPGA에서 이를 처리 할 수 있도록 만들어져 있다. FPGA 칩은 PCI를 제어할 수 있는 신호 발생과 워터마크가 삽입되는 신호를 처리하기 위한 신호 발생 두 부분을 위하여 두 개의 신호발생기를 사용하게 된다 PLL을 통하여 들어오는 신호를 PCI 제어 신호와 같은 크기의 동작을 위하여 66MHz의 클럭과 본 시스템에서 사용한 DVD의 SD급 신호를 위한 27.5Mhz의 클럭을 만들어서 사용한다. FPGA에서는 이렇게 두 가지 클럭을 만들어서 입력으로 들어오는 워터마크가 삽입된 신호를 PCI 제어 칩으로 전달하는 역할을 하게 된다. PCI 칩은 전달 받은 SDI 신호를 컴퓨터로 전달하는 역할을

하게 된다. 컴퓨터에서는 PCI 제어기에서 들어오는 신호를 효과적으로 처리하기 위하여 PLX에서 제공되는 PCI 제어기 라이브러리를 이용하여 설정할 수 있는 프로그램을 만들고, 워터마크 신호를 캡처하여 소프트웨어적인 방법을 통하여 워터마크 검출을 하게 된다.

#### IV. 구현된 시스템 및 결과

이 장에서는 워터마크 삽입을 위한 시스템과 워터마크 검출을 위한 보드에 대하여 설명하고 그 결과에 대하여 기술한다. 워터마크 삽입 시스템을 구현하기 위하여 본 논문에서는 [그림 3]과 같이 구성하였다.

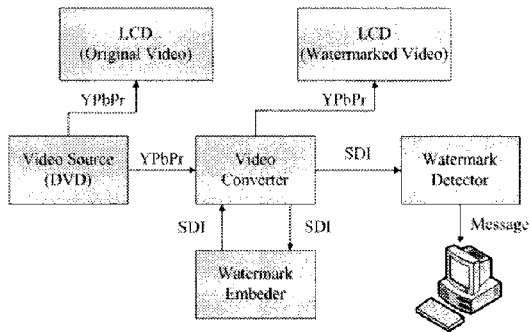


그림 3. 워터마킹 시스템 구성도

워터마크 삽입된 영상의 화질을 비교하기 위하여 워터마크가 삽입된 비디오를 표현하기 위한 LCD와 워터마크가 삽입되지 않은 원본을 보여주기 위한 LCD 두 대를 사용하였고, 비디오 신호원은 SD급(720\*480)의 신호를 발생 시킬 수 있는 DVD 재생기를 사용하였다. DVD 재생기의 출력은 YPbPr의 세 가지 신호원으로 구성되어 있는데 이를 디지털 신호로 변환하기 위하여 AD/DA 변환기를 사용하였다. 변환된 신호는 SDI(serial digital interface)이며 YCbCr로 표현된다. 본 논문에서 FPGA를 이용하여 구현된 삽입 칩은 YCbCr에서 Y신호에 워터마크를 삽입하고 그 결과를 DA(digital to analog)로 변환하여 LCD에 출력하게 된다. 또한 워터마크 삽입된 SDI 신호는 PCI 컨트롤러를 이용하여 캡처한 후 PC에서 워터마크 검출 할 수 있는 프로그램을 통하여 신호에 삽입된 워터마크를 검출하

게 된다. [그림 4]는 [그림 3]에 도식화된 시스템의 실제 모습을 보인다.



그림 4. 원영상(우)과 워터마크 삽입된 영상(좌)

그림에서 오른쪽의 LCD는 원본영상을 보여주고 있고, 왼쪽의 LCD는 워터마크가 삽입된 영상을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 왼쪽의 화면과 오른쪽의 화면의 화질 차이는 거의 같음을 알 수 있다. 이와 같은 두 모니터에서 보이는 화질 차이를 비교하기 위한 실험을 하였다. 워터마크 시스템을 통하여 워터마크가 삽입된 비디오와 워터마크가 삽입되지 않은 원 비디오와의 차이를 실험하기 위하여 5명으로 구성된 일반 성인을 대상으로 일정 거리에서 시각테스트를 하였다.

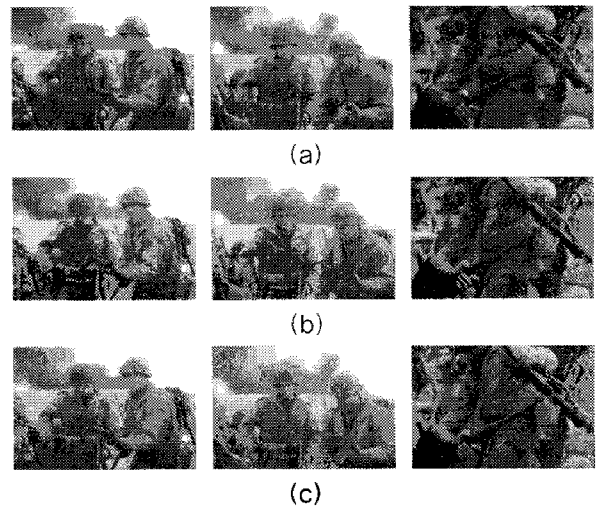


그림 5. 원본 영상(a), 워터마크 삽입영상(b), H.264압축 후 복원영상(c)

[그림 5]는 Saving private ryan에 대한 원본 영상과

워터마크가 삽입된 영상 그리고 H.264로 압축 후 복원한 영상의 10번째, 30번째, 50번째 영상을 나타내었다. 그림에서와 같이 시각적으로 영상의 화질 차이는 거의 없음을 알 수 있다.

표 1. 워터마크 삽입 시간(초)

Saving private ryan	Forrest gump	The lord of the rings 3	The Matrix 3	Star wars 3
8.351	9.502	9.462	9.296	9.593

본 논문에서의 실시간 구현은 비디오 프로세싱이 비디오 재생 시간에 거의 영향을 주지 않는 범위를 말한다. 즉, 초당 30프레임을 재생할 경우 비디오 프로세싱이 적용되더라도 초당 30프레임의 재생이 가능하여야 함을 말한다. [표 1]은 소프트웨어로 워터마크 삽입 프로그램을 구현하여 100 프레임의 크기를 가지는 샘플 비디오에 대하여 테스트 한 결과이다. 테스트 환경은 펜티엄 듀어 코어 2.6GHz, Memory 4Byte이다. 실험 결과 100프레임을 재생하는데 소요되는 시간은 약 3.3초이지만, 구현된 프로그램은 워터마크를 삽입하는데 평균 9.24초가 소요됨을 알 수 있고, 이는 실시간 처리가 되지 않고 있음을 보여주고 있다. 하드웨어 구현에서는 지역 분산을 구하기 위한 라인 버퍼에 지연 시간만이 존재하고, 소수 연산에 필요한 비트를 제거하였기 때문에 곱셈기, 덧셈기의 수가 절반으로 줄어 상대적 계산 감소가 있었고, 비디오 재생 중 워터마크를 실시간으로 삽입할 수 있었다.

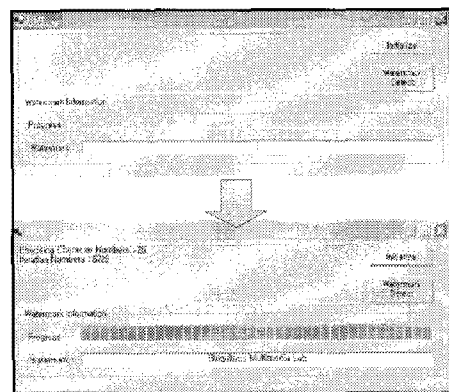
표 2. 워터마크 삽입 실험 결과표

Video sequence	Distance	Distance			
		30 (cm)	70 (cm)	100 (cm)	200 (cm)
The lord of the rings 3	2	1	1	1	1
Forrest gump	2	1	1	1	1
Star wars 3	2	1	1	1	1
Saving private ryan	2	1	1	1	1
The Matrix 3	2	1	1	1	1

1. 인지 안됨 2. 거의 인지 안됨 3. 인지됨

시각 테스트의 결과를 [표 2]에 나타내었다. 주관적 화질 비교 실험을 위하여 피실험인이 두 대의 모니터를

번갈아 보면서 모니터에 재생되는 화면의 이상 유무를 살펴보게 하였다. 실험 결과 두 모니터에 재생되는 화면의 시간차이를 전혀 느낄 수 없는 실시간 워터마킹이 구현되었음을 확인 할 수 있었고, 모니터에서 30cm, 70cm, 1m, 2m의 거리를 두고 워터마크 삽입 정도에 대한 의견에 대한 결과는 70cm, 1m, 2m정도의 거리에서는 시각적으로 인지 할 수 없는 정도였고, 30cm에서도 시각적으로 거의 인지할 수 없을 정도였다.



(b)  
그림 6. 워터마킹 검출 결과

원본 비디오에 삽입되어 있는 워터마크를 검출하기 위하여 본 논문에서 제안한 방법을 PC에 구현하였다. 검출 결과는 [그림 6]과 같다. 본 논문에서 제안한 방법과 구현에 의하여 삽입된 워터마크는 워터마크 검출 프로그램을 통하여 정확하게 검출된 것을 볼 수 있다.

표 3. 워터마킹 실험 결과

	PSNR(dB)		검출률(%)		압축률 (%)
	비압축	H.264	비압축	H.264	
Saving private ryan	46.93	42.64	100	87.5	450
Forrest gump	42.63	35.19	100	100	370
The lord of the rings 3	46.76	42.52	100	87.5	556
The Matrix 3	41.52	37.70	100	100	376
Star wars 3	43.62	40.70	100	87.5	322

표 3은 워터마크 삽입 및 검출에 따른 객관적인 화질 및 압축에 대한 강인성을 표로 나타내었다. 실험결과

720x480 크기를 가지는 비디오에서 워터마크 삽입하였을 경우 평균 44.29dB의 PSNR을 가지고 이는 시각적으로 워터마크 삽입한 경우와 그렇지 않은 경우 사이의 화질 차이를 구분하기 힘든 정도이고, 현재 압축효율이 가장 좋은 H.264로 압축하였을 경우 평균 92.5%의 검출률을 보여 압축에 강인한 함을 보여준다.

## V. 결론

본 논문에서는 실시간 비디오 워터마킹 시스템을 제안하고 구현한다. 워터마크 삽입 칩은 ALTERA사의 FPGA인 STRATIX를 사용하여 구현하였고 검출기는 STRATIX FPGA와 PCI제어기 그리고 소프트웨어 프로그램을 사용하여 구현하였다. 제안한 실시간 워터마킹 시스템은 비디오의 공간영역에 워터마크를 삽입하였다. 그 결과 워터마크 삽입에 의한 약간의 인위적 잡음을 가졌고 삽입된 워터마크는 정확히 검출됨을 볼 수 있었다. 워터마킹 시스템에서 Kutter가 제안한 알고리즘을 하드웨어 구현에 최적화하기 위하여 워터마크 강도 계산 부분과 워터마크 생성 부분을 각각 개선하였다. 제안한 하드웨어 워터마킹 시스템의 비가시성과 견고함은 실제 응용에 사용 가능하다. 그리고, 제안한 시스템은 방송 또는 영화산업과 같은 저작권 보호를 필요로 하는 곳에 적용 가능하다.

## 참고 문헌

- [1] I. Cox, M. Miller, and J. Bloom, "Digital Watermarking," Press of Morgan Faulkman, 2002.
- [2] I. Cox and J. Linnartz, "Public watermarks and resistance to tampering," Proceeding of the IEEE international conference on image processing, Vol.3. pp.3-6, 1997.
- [3] C. Podilchuk and W. Zeng, "Digital image watermarking using visual models," Proceeding of the SPIE conference on human vision and electronic imaging, Vol.3016, pp.100-111, 1997.
- [4] R. Schyndel, A. Tirkel, and C. Osborne, "A digital watermark," Proceeding of the IEEE international conference on image processing, Vol.2. pp.86-90, 1994.
- [5] L. Strycker, P. Termont, J. Vandewege, J. Haitsma, A. Kalker, M. Maes, and G. Depovere, "Implementation of a Real-Time Digital Watermarking Process for Broadcast Monitoring on Trimedia VLIW Processor," IEE Proc. on Vision, Image and Signal Processing, Vol.147, No.4, pp.371-376, 2000(8).
- [6] G. Petitjean, J. Dugelay, S. Gabriele, and C. Rey and J. Nicolai, "Towards Real-time Video Watermarking for Systems-On-Chip," Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Vol.1, pp.597-600, 2002.
- [7] A. Garimella, M. Satyanarayan, R. Kumar, P. Murugesu, and U. Niranjan, "VLSI Impementation of Online Digital Watermarking Techniques with Difference Encoding for the 8-bit Gray Scale Images," Proc. IEEE International Conference on VLSI Design. pp.283-288, 2003.
- [8] T. Tsai and C. Wu, "An Implementation of Configurable Digital Watermarking Systems in MPEG Video Encoder," Proc. IEEE International Conference on Consumer Electronics. pp.216-217, 2003(6).
- [9] N. Mathai, A. Sheikholeslami, and D. Kundur, "VLSI Implementation of a Real-Time Video Watermark Embedder and Detector," Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Vol.2, pp.II-772-II-775, 2003(5).
- [10] Y. Seo and D. Kim, "Real-Time Blind Watermarking Algorithm and its Hardware Implementation for Motion JPEG2000 Image

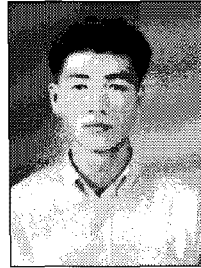


Codec," Proc. 1st Workshop on Embedded Systems for Real-Time Multimedia, pp.88-93, 2003(10).

- [11] A. Garimella, M. Satyanarayana, P. Murugesu, and U. Niranjan, "ASIC for digital color image watermarking," IEEE Signal Processing Education Workshop, pp.292-296, 2004(8).
- [12] S. Mohanty, N. Ranganathan, and K. Balakrishnan, "A Dual Voltage-Frequency VLSI Chip for Image Watermarking in DCT Domain," IEEE Transactions on Circuits and Systems-II, Vol.53, pp.394-398, 2006(5).
- [13] S. Mohanty, N. Ranganathan, and R. Namball, "A VLSI Architecture for Visible Watermarking in a Secure Still Digital Camera (S2DC) Design," IEEE Transactions on VLSI Systems, Vol.13, No.8, pp.1002-1012, 2005(8).
- [14] M. Kutter and S. Winkler, "A Vision-Based Masking Model for Spread-Spectrum Image Watermarking," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.11, pp.16-25, 2002(1).
- [15] P. Shlichta, "Higher-dimensional Hadamard matrices," IEEE Trans. on Information Theory, 1979.
- [16] "Component Video Signal 4:2:2 Bit-Parallel Digital Interface," American National Standard, ANSI/SMPTE 125M, 1995(9).

**김 종 남(Jong-Nam Kim)**

정회원



- 1995년 2월 : 금오공과대학교 전자공학과(공학사)
  - 1997년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과(공학석사)
  - 2001년 8월 : 광주과학기술원 기전공학과(공학박사)
  - 2001년 8월 ~ 2004년 2월 : KBS 기술연구소 선임연구원
  - 2004년 4월 ~ 현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수
  - 2003년 3월 ~ 현재 : (주)홈캐스트 사외이사
- <관심분야> : 영상신호처리, 멀티미디어 보안

**문 광 석(Kwang-Seok Moon)**

정회원



- 1979년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
  - 1981년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학석사)
  - 1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학박사)
  - 1988년 1월 ~ 1988년 12월 : 일본 동경대학교 학부 연구원
  - 1987년 8월 ~ 1998년 7월 : 미국 Jackson State University 객원 교수
  - 1990년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수
- <관심분야> : 영상신호처리, 적응신호처리

**저 자 소 개**

**정 용 재(Yong-Jae Jeong)**

정회원



- 1999년 2월 : 부경대학교 전자공학과(공학사)
- 2002년 2월 : 부경대학교 전자공학과(공학석사)
- 2008년 2월 : 부경대학교 전자공학과(공학박사 수료)

<관심분야> : 워터마킹, 영상 처리